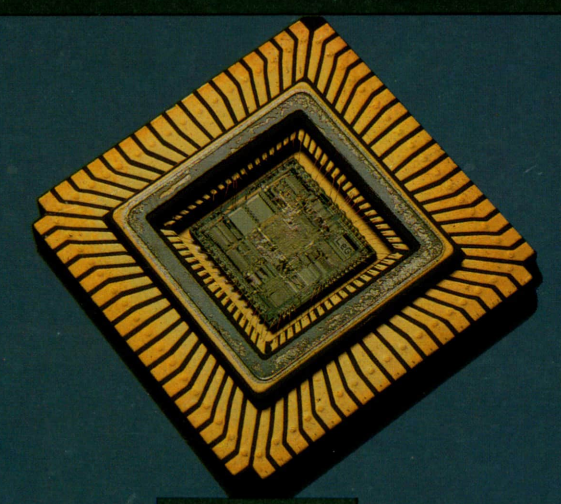
MICROPROCESADORES (I)



NUEVAS TECNOLOGIAS

BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA



marcombo



BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA

MICROPROCESADORES
(I)



Esta obra es una nueva edición actualizada y ampliada de la obra originalmente publicada por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, con el título de «Aplicaciones de la Electrónica»

El contenido de la presente obra ha sido realizado por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, bajo la dirección técnica de José Mompin Poblet, director de la revista «Mundo Electrónico»

ISBN 84-7634-485-6 (Obra completa)
ISBN 84-7634-708-1 (Vol. 32)
D. L.: B. 26573-1986

Impreso y encuadernado por
printer industria gráfica, sa c.n. II, cuatro caminos, s/n
08620 sant vicenç dels horts barcelona 1986

Printed in Spain

Microprocesadores (I)

MICROPROCESADOR Y MICROCOMPUTADOR: ¿QUIEN ES QUIEN?

En la rápida evolución de las tecnologías de fabricación de los circuitos integrados ha aparecido una nueva generación de componentes electrónicos que se han agrupado dentro de una gran familia denominada *microelectrónica.*

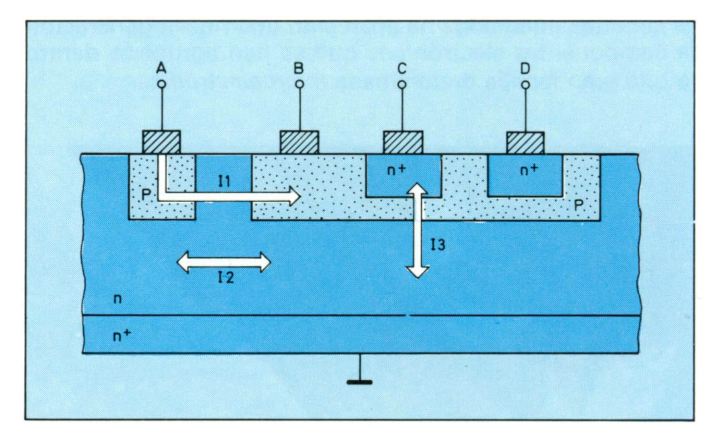


La fabricación de microprocesadores es muy laboriosa. En primer lugar hay que diseñar el esquema teórico, y después dibujar a una escala ampliada, la totalidad de las máscaras que determinan las diferentes fases de fabricación. (Cortesía: Siemens).

Un microprocesador es un circuito integrado de muy alta escala de integración (VLSI), comandado por un programa, y que es capaz de constituirse en la unidad central de control y tratamiento de un sistema más complejo, en general de un computador.

Como la mayoría de circuitos integrados digitales, los microprocesadores están constituidos por pastillas de silicio

sobre las que se depositan, mediante técnicas especiales, algunos elementos químicos, conformando de esta forma el componente electrónico deseado. Para realzar la complejidad tecnológica de los circuitos integrados que constituyen los microprocesadores, bastará decir que en una superficie de un centímetro cuadrado se integran cientos de miles de componentes electrónicos discretos.



Corte transversal de una porción de circuito integrado de un microprocesador, en donde puede apreciarse la compleja estructura interna, con los diferentes niveles de dopado y la circulación de corriente en las tres dimensiones.

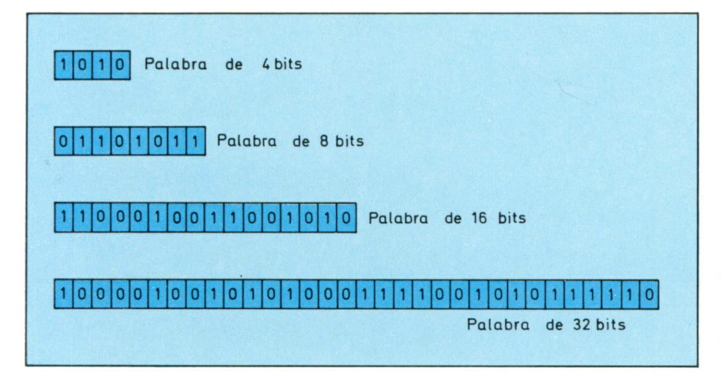
En general, pues, un microprocesador es un circuito integrado capaz de realizar las funciones de control y cálculo de un procesador. En estos componentes integrados se han englobado toda una serie de funciones que antes de su aparición eran realizadas por varios circuitos integrados especializados, aunque de inferior complejidad.

A los ordenadores, basados en microprocesadores se les denomina *microcomputadores*. Un microcomputador es, pues, un computador cuya unidad central es un microprocesador, en los términos estrictos mediante los que se ha definido un microprocesador en las líneas anteriores.

Hay que decir, no obstante, que cada vez es menos clara esta aparentemente simplista clasificación ya que los niveles de integración son tales que la potencia y funciones que son capaces de realizar los microprocesadores se solapan con las funciones y estructuras de los microcomputadores.

Hay, en general, varias clasificaciones de microprocesa-

dores según sea la longitud de sus palabras, esto es, del número de bits que forman las informaciones que procesan. En este sentido, los microprocesadores más frecuentes procesan información cuya longitud de palabra es de 4, 8, 16 ó 32 bits. La tendencia es preferir microprocesadores que sean capaces de procesar palabras de mayor longitud, si bien hoy en día los microprocesadores de 32 bits se reservan a aplicaciones muy especializadas de cálculo científico. En el terreno informático, la tendencia actual es la de utilizar microprocesadores de 16 bits, si bien los 8 bits son aún preferidos al existir mucho *software* ya desarrollado y ampliamente probado para este tipo de microprocesadores.



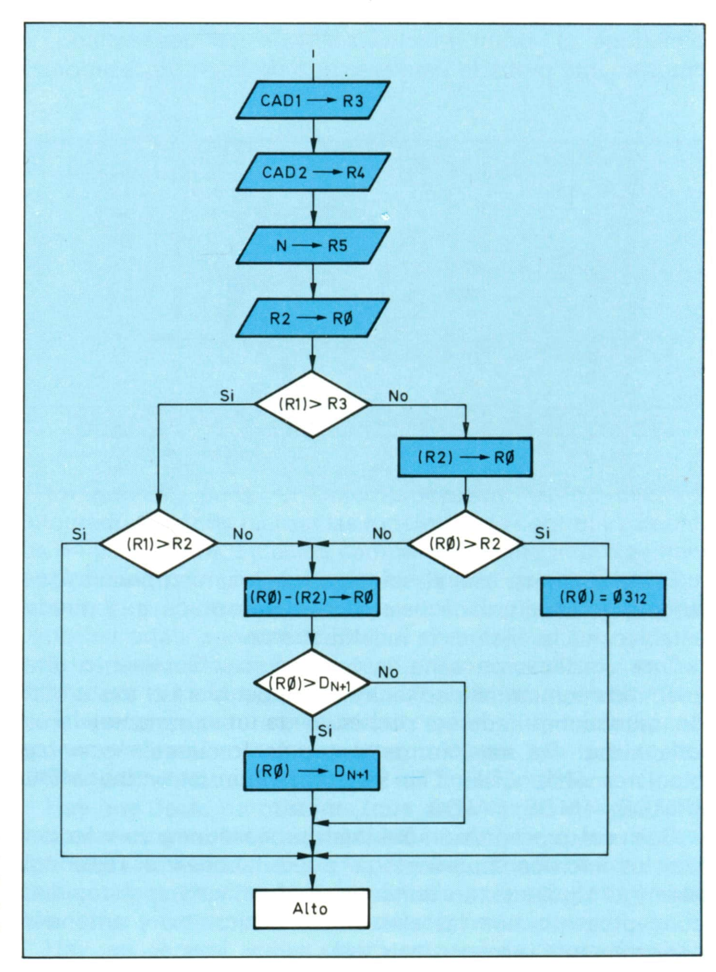
Estructura de las palabras de 4, 8, 16 y 32 bits. Obsérvese que la complejidad aumenta con el número de bits.

Evidentemente, esta clasificación de los microprocesadores por su longitud de palabra no es la única que puede establecerse, si bien es la más frecuente.

Otra clasificación sería la tecnológica. Solamente una adecuada compatibilidad tecnológica permitirá el desarrollo de microcomputadores partiendo de microprocesadores adecuados. De esta forma, las más frecuentes son las bipolares (I^2L, ECL, TTL-SCHOTTKY, etc.) y las MOS (PMOS, NMOS, CMOS, etc.).

Con esta presentación del microprocesador y su relación con los microcomputadores se puede abordar el resto del libro y el siguiente, en donde se profundizará en estos dos conceptos que son las estructuras básicas para entender correctamente la microelectrónica.

Todos los aspectos referidos al *hardware* y *software* de los microprocesadores van a ser tratados con especial cuidado en el convencimiento de que una base sólida en el conocimiento de estos dispositivos es premisa imprescindible para la comprensión de los aparatos electrónicos modernos, sea cual sea su ámbito de aplicación; doméstico, industrial, médico, aeroespacial, telecomunicaciones, informática, diseño, etc.



El software de un microprocesador lo constituyen los programas. En la figura se representa el diagrama de flujo de un programa.



El diseño de circuitos integrados mediante computador se está imponiendo, especialmente desde que la tendencia actual se orienta hacia la fabricación de dispositivos bajo pedidos especiales, que realicen unas funciones predeterminadas. El computador facilita la introducción de cambios sobre el diseño previsto. (Cortesía: Texas Instruments).

EL HARDWARE Y EL SOFTWARE DE UN MICROPROCESADOR

Como se ha señalado en el apartado anterior, un microprocesador es un sistema integrado en un circuito electrónico capaz de constituirse en la unidad central de un computador. Para ello debe reunir los dos elementos esenciales que coexisten en un computador: el hardware y el software.

Recuérdense los significados de ambas palabras. Ambas provienen del inglés, y si bien su traducción literal no tiene significado alguno, el valor conceptual es claro y es el que va a exponerse a continuación.

Hardware viene a significar la parte consistente, sólida

(dura, en traducción literal de la palabra inglesa HARD) de los microprocesadores, o sea, el circuito electrónico en sí mismo, que es inmodificable e invariable. En general, se dirá que el *hardware* de un computador es la *circuitería*, componentes, materiales, etc., que lo constituyen. Por el contrario *software* viene a significar la componente blanda, fácilmente modificable y que no posee elementos materiales. Proviene del prefijo inglés *soft*, que significa blando. El software de los microprocesadores y, en general, de los ordenadores, lo constituyen los *programas*.

En un microprocesador el hardware lo constituye, como se ha dicho, el propio circuito integrado, en cuyo interior se encuentran, como se estudiará posteriormente con más detalle, los siguientes bloques: *unidad de control, memoria, entradas/salidas*, etc.

Corresponde, sin embargo, al software la organización del trabajo que debe desarrollar el microprocesador. Esta organización del trabajo se realiza mediante instrucciones encadenadas que conforman un programa.

Cada microprocesador dispone de una serie de instrucciones básicas, a partir de las cuales se configuran programas de realización más complejos. La riqueza, tanto en número como en calidad, de las instrucciones constituye inapreciables ventajas que cada microprocesador reporta frente a los otros.

Las órdenes son codificadas e introducidas al microprocesador en binario pero, teniendo en cuenta la poca operatividad y engorrosa utilización del código binario, se usan instrucciones codificadas en *lenguajes simbólicos o nemónicos*. Al lenguaje simbólico o nemónico usado para denominar las instrucciones elementales se le llama *lenguaje ensamblador*, ya que ensambla o adapta un modo de expresión próximo al hombre con el lenguaje de *unos* y *ceros* que es capaz de entender el microprocesador.

El programa que, como se ha dicho, constituye la concatenación de instrucciones que elabora el programador para que el microprocesador realice una labor concreta, se llama *programa fuente*. La traducción al sistema de numeración binario de este programa fuente, se llama *programa objeto*. Como el lector habrá comprendido con lo expuesto, el programa ensamblador es el responsable de transformar el programa fuente en programa objeto.

En realidad, hoy en día esta situación se ha modificado

considerablemente con la aparición de lenguajes de alto nivel como el *Basic, Algol, Cobol, PL/I, PL/M, Fortran, APL*, etc. Al ser lenguajes de una potencia muy superior simplifican enormemente la programación.



La comprobación de cada una de las películas que constituyen las diferentes máscaras ha de realizarse minuciosamente, ya que una ligera imperfección acarrearía importantes consecuencias en el comportamiento final del circuito integrado. (Cortesía: Ferranti. British Information Services).

Hay una serie de programas que son inherentes e imprescindibles en cada microprocesador, sin los cuales todos los datos serían inútiles. Estos programas son el de *arranque* del microprocesador y el *cargador* de programas para poder efectuar la lectura y procesado de los mismos. También hay programas de puesta a punto o *debugging* que permiten procesarlos de forma que pongan en evidencia los errores producidos en la programación, etc.

A medida que se vayan tratando éste y los próximos libros, especialmente los correspondientes a los microcomputadores, se irá profundizando en los temas relativos al

software, cada vez de mayor transcendencia para una correcta y eficaz aplicación de los microprocesadores y, en general, de los ordenadores.

ESTRUCTURA BASICA DE LOS MICROPROCESADORES: BLOQUES FUNCIONALES

Los microprocesadores existentes en el mercado presentan, evidentemente, estructuras circuitales muy diversas

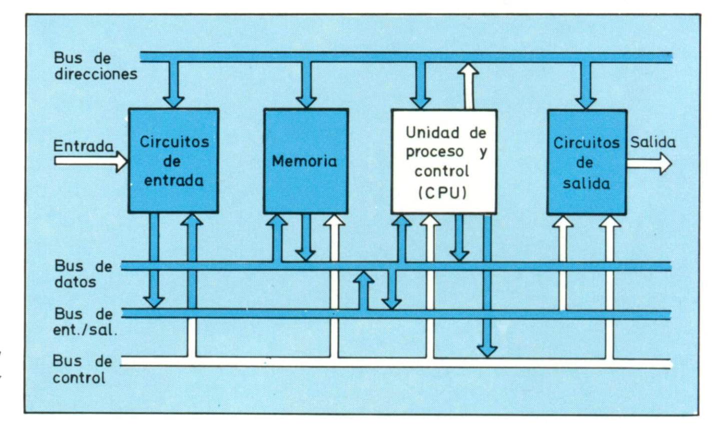


Figura 7. Estructura básica de un microprocesador. Se destaca la unidad central de proceso y control, así como el bus de control.

atendiendo a las diversidades funcionales que tales circuitos pueden presentar, esto es, sus diferentes longitudes de palabras, sus velocidades de ejecución de las instrucciones, el número de instrucciones que debe procesar el circuito, el número de registros de que dispone, la forma de direccionamiento de estas instrucciones, los sistemas de prioridades en las interrupciones, etc. A pesar de ello, hay una estructura básica a la cual se pueden asimilar la mayor parte de los microprocesadores modernos (figura 7).

Cabe señalar, muy genéricamente, los siguientes bloques:

Unidad de entrada. Consiste en un sistema multiplexado a través de las señales de dirección o control, de forma que permite acceder la información adecuada al interior del microprocesador.

Unidad de memoria. Es el almacén de las instrucciones que va desgranando el programa o los datos que éste maneja. Este almacenamiento, evidentemente, es temporal y se distinguen en él dos juegos de registros importantes: el registro de direcciones de memoria (MAR, o Memory Address Register, en inglés) y el registro de datos de memoria (MDR, o Memory Data Register).



Inspección ocular de una de las máscaras reducida a tamaño natural, para la fabricación de circuitos integrados sobre una oblea. (Cortesía: Siemens).

Unidad central de proceso. A veces se puede desglosar en dos: la unidad de control y la unidad de proceso propiamente dicha. Suele denominarse simplificadamente la CPU (síntesis de su denominación anglosajona Central Processing Unit). La parte correspondiente al control es el verdadero cerebro del microprocesador y del computador al que comanda, ya que es el responsable de organizar todo el «ballet» de órdenes que constituye la ejecución correcta de

un programa. La parte correspondiente a la unidad de proceso realiza las operaciones, sean aritméticas o lógicas, y habitualmente contiene una serie de registros de trabajo en los que mantiene temporalmente determinados datos que utiliza en la ejecución de las operaciones.

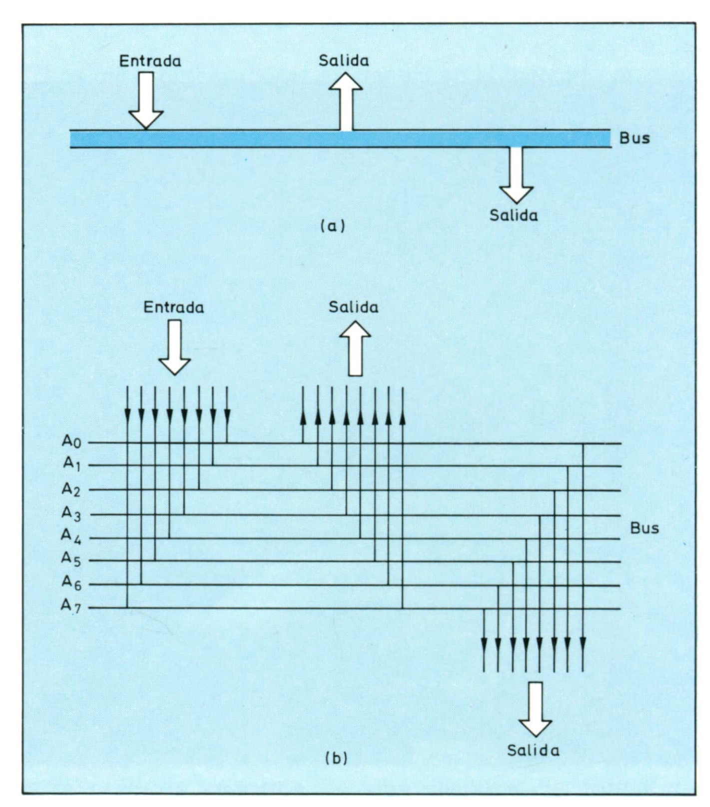


Figura 9. a) Representación esquemática de un bus con entrada y salidas; b) Representación eléctrica equivalente del bus anterior. En ambos casos no se consideran las posibles conexiones y desconexiones eléctricas producidas por puertas de tres estados (tri-state).

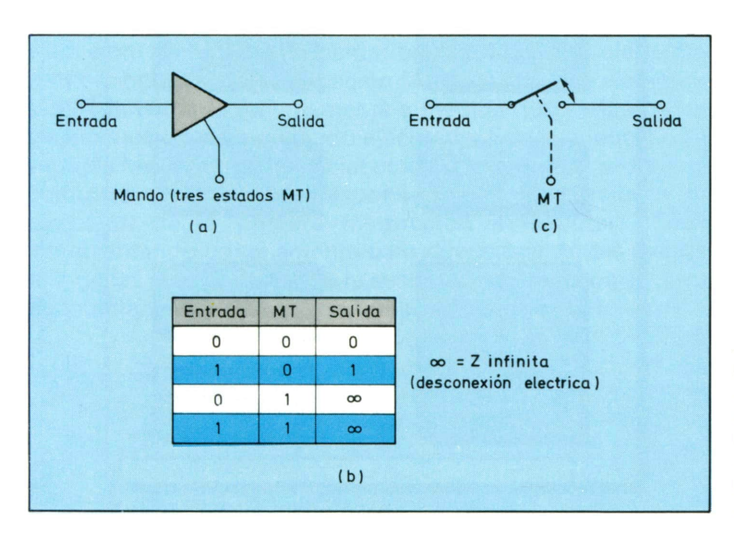
La unidad de salida. Es la responsable de entregar al exterior del microprocesador aquella información que, convenientemente procesada, es el resultado de la ejecución que le ha sido encomendada. Además, la unidad de salida se encarga de adecuar las salidas de forma que sean inteligibles por los circuitos periféricos exteriores.

Un estudio más detallado de todos estos bloques se

efectúa en los siguientes apartados de este capítulo.

Antes de finalizar este apartado, es conveniente presentar un nuevo concepto que a pesar de que será tratado asimismo con mayor profundidad, es conveniente esbozar aquí para que el lector comprenda perfectamente la estructura de los microprocesadores presentada anteriormente. Este nuevo concepto es el de BUS (figura 9).

Los BUSES son canales multiconductores de interconexión que entrelazan todos los bloques funcionales del



Entrada	MT	Salida
0	0	0
1	0	1
0	1	∞
1	1	∞

Figura 10. a) Esquema eléctrico equivalente de una puerta de tres estados;
b) Tabla de verdad de una puerta «tri-state»;
c) Símil eléctrico clásico de una puerta «tri-state».

microprocesador, ya sea internamente (Buses internos) o externamente con los demás circuitos integrados periféricos (Buses externos).

Un BUS se puede asimilar a un conjunto de conductores capaz de transportar las dos señales digitales básicas, «1» y «0» lógicos, y también permanecer en un tercer estado de impedancia «infinita» o de circuito abierto, de forma que desconecte funcionalmente aquellas partes que están entrelazadas a través del bus (figura 10).

Es conveniente insistir en el hecho de que cada microprocesador presenta una estructura propia y, en general, distinta de todos los demás, como podrá verse en el estudio detallado de varios de ellos en el próximo libro. Como el lector

habrá adivinado, la parte o bloque fundamental de los microprocesadores es la CPU. Y es principalmente esta unidad de la que van a tratar los próximos apartados.

Su estructura básica está representada por el diagrama de la figura 11.

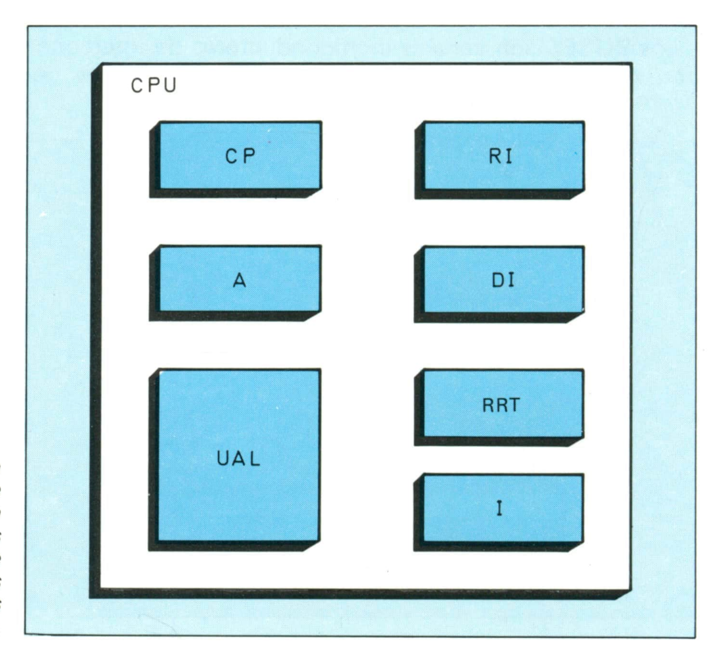


Figura 11. Diagrama interno de la estructura de una CPU clásica en un microprocesador. Los diferentes circuitos se representan por bloques con las siglas que los identifican.

En esta figura pueden encontrarse los siguientes elementos:

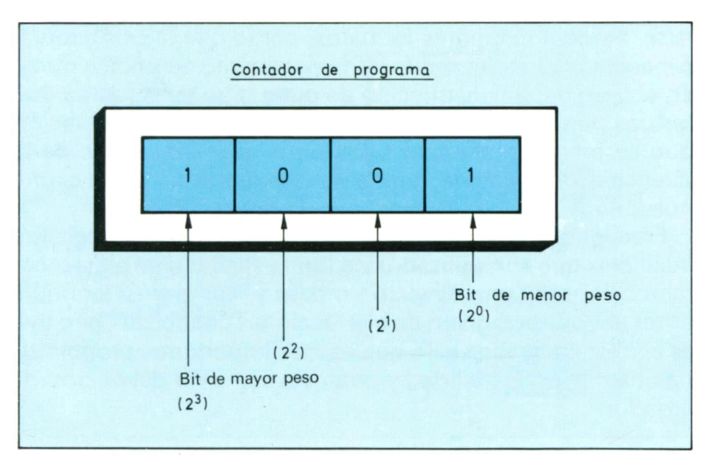
1) El contador de programa CP.
2) Registro de instrucciones (pueden ser varios): RI.
3) El acumulador, A.
4) La unidad aritmético-lógica, UAL.
5) Los registros rápidos de trabajo, RRT.
6) El decodificador de instrucciones, DI.
7) Los indicadores, stacks pointer, flags, etc.

El contador de programas

El contador de programas es, como se ha dicho, uno de los

elementos constitutivos de la CPU de un microprocesador. Su función es capital, según se verá a continuación.

Como es sabido, un programa está constituido por una secuencia de pequeñas órdenes que se llaman *instrucciones*. Estas instrucciones son requeridas y utilizadas por el microprocesador cuando les corresponde, convenientemente direccionadas por la CPU. Las informaciones relativas a cada una de las instrucciones son guardadas en la memoria, una detrás de otra, en orden de menor a mayor del número de la dirección. Debido a esta organización natural de las instrucciones, para poner en marcha la secuencia de ejecución de una instrucción bastará que un elemento proporcione la primera dirección inicial, y que este elemento sea incrementado unitariamente a medida que cada una de las instrucciones vaya siendo ejecutada. Esta secuencia será seguida hasta que se haya ejecutado totalmente el programa completo. El elemento responsable de proporcionar la dirección de la primera instrucción a ejecutar e irse incrementando unitariamente para direccionar todas y cada una de las instrucciones de la secuencia de un programa se denomina, precisamente, contador de programas.



Formato de las informaciones contenidas en el contador de programa (CP).

El registro de instrucciones

El contador de programas, tal como se explicó, proporcio-

na la dirección de la instrucción que debe tratar el microprocesador. Tal instrucción, una vez direccionada, debe de ser leída en la posición de memoria correspondiente. El contenido de dicha posición de memoria, referida por el contador de programas y que es leída en la memoria, se

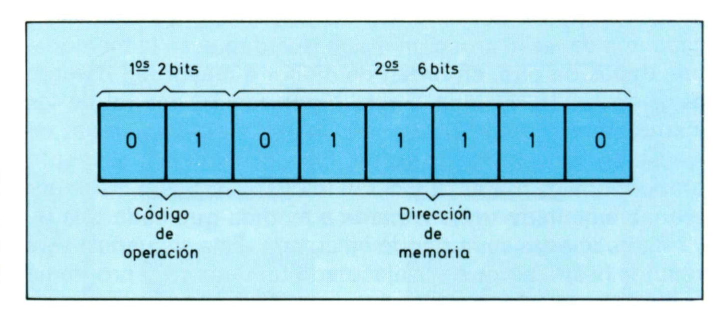


Figura 13. Formato frecuente de una instrucción de 8 bits en donde se detalla el código de operación y la dirección de la memoria.

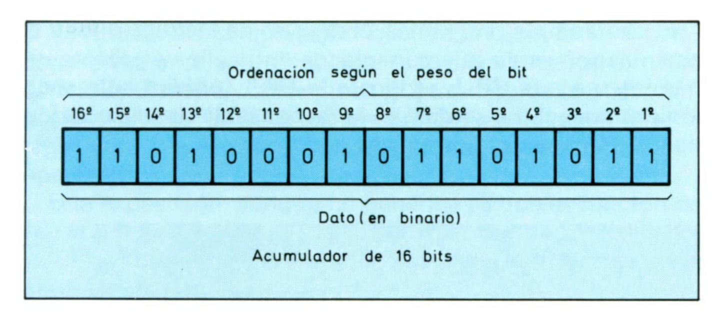
almacena temporalmente en un registro especial que se encuentra en la CPU, es el denominado registro de instrucciones.

Las instrucciones, según el microprocesador de que se trate, tendrán diferentes formatos, por lo que la estructura y capacidad del registro diferirán obviamente de unos a otros. En el caso de una instrucción de ocho bits, es frecuente que los dos primeros sean indicativos del código de la operación que se pretende efectuar y los otros seis indicativos de la dirección de memoria donde se encuentre un dato o una nueva instrucción (ver detalle en la figura 13).

Frecuentemente, las CPU disponen de otros registros auxiliares que son utilizados de forma similar para almacenar temporalmente una dirección o dato y, aunque su jerarquía es menor que el registro de instrucciones citado, su operativa es similar a aquellos y, lo que es más importante, proporciona una mayor flexibilidad y potencia a la CPU del microprocesador.

El acumulador

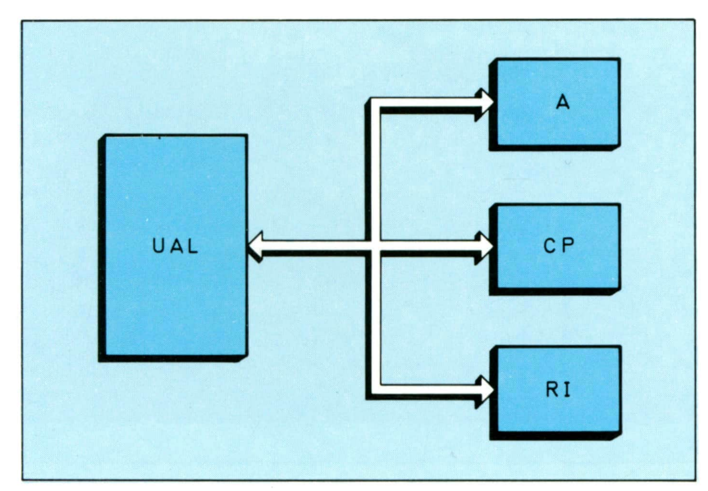
El acumulador es un registro especial de la CPU utilizado para el almacenamiento de algún dato que va a ser tratado por la instrucción que se ejecuta. Se distingue del registro de



Formato de la información contenida en un registro acumulador de 16 bits.

instrucciones y auxiliares en que todo su contenido se refiere a un dato y no a una operación o una dirección de memoria. Habitualmente, el contenido del acumulador se usa como un operando de una operación aritmética.

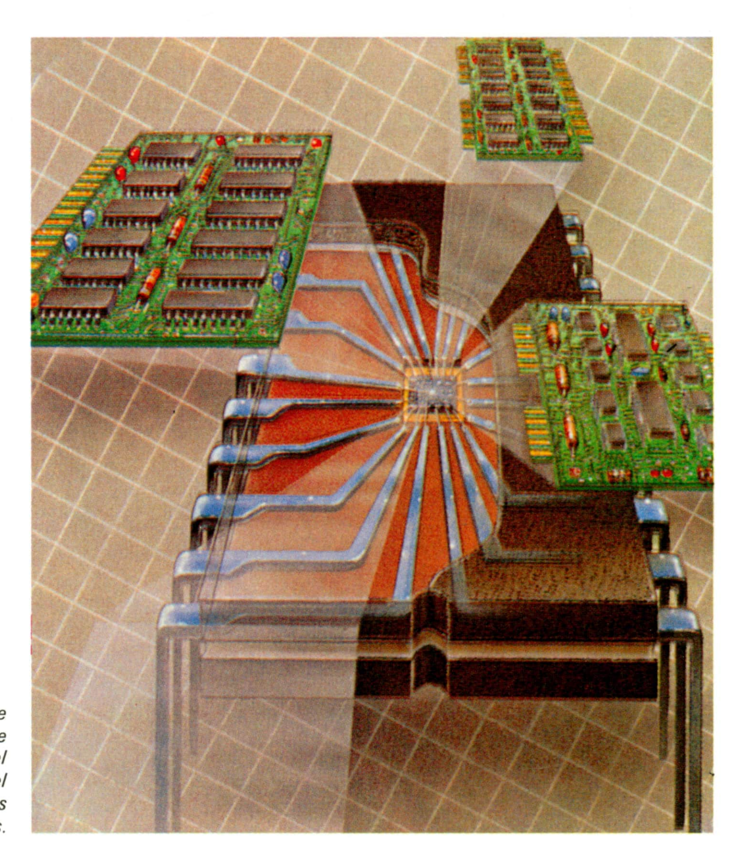
En resumidas cuentas, el acumulador no es más que un registro cuya longitud se corresponderá con la de las palabras que procesa la CPU en concreto.



Buses internos de la CPU de un microprocesador: interconexión entre la UAL (unidad aritmético-lógica), el acumulador, el registro de instrucciones y el control de procesos.

Una vez que se ha llegado a este punto conviene explicar cuál es la misión de estas unidades y cómo se relacionan entre sí.

El contador de programas, el registro de instrucciones y el acumulador, están interconectados entre ellos mediante un bus interno a la CPU y todos a la UAL (unidad aritmetico lógica) que, como se dijo, es la responsable de la ejecución de las operaciones aritméticas o lógicas.



Los microprocesadores se intercomunican fácilmente y de forma física con el exterior, a través del conjunto de terminales que llevan incorporados.

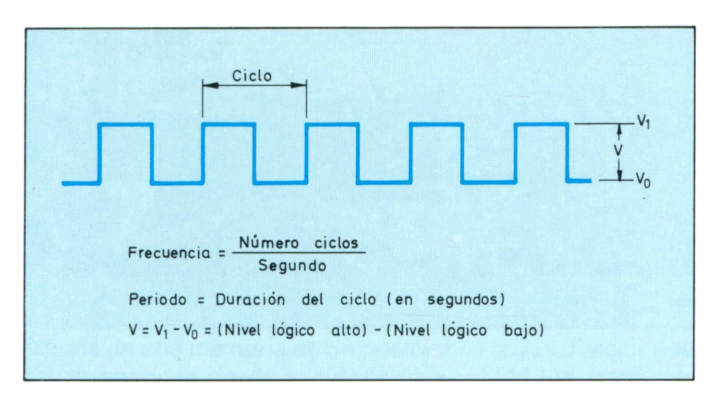
Inicialmente, el contador de programas (CP) proporciona la dirección de una instrucción, que es leída en la memoria y subsiguientemente almacenada en el correspondiente registro de instrucciones. La parte correspondiente de la instrucción que define una operación, si la hubiere, refiere a

la UAL cuál es la operación que debe ejecutar. La parte correspondiente a la dirección sirve para localizar el dato correspondiente en la memoria. El otro dato de la operación a efectuar por la UAL se encontrará en el acumulador, registro en el que quedará almacenado el resultado de dicha operación.

Esta exposición, aunque no genérica ya que es función de la estructura interna de la CPU que se trate, podrá ser extrapolada mediante la adecuada particularización del microprocesador objeto de estudio.

El reloj y su importancia funcional: sincronismo y asincronismo

La ordenación de las instrucciones de un programa que proporciona el contador de programas debe seguir un secuenciamiento estricto y convenientemente temporizado. El ritmo de órdenes que proporciona la CPU es el fundamento básico del funcionamiento del microprocesador y de los computadores que el mismo controla, viene marcado por un oscilador de cuarzo de gran estabilidad que proporciona lo que se denomina la *base de tiempo*.



Base de tiempo proporcionada por un oscilador responsable del sincronismo de las funciones de la unidad central de los microprocesadores.

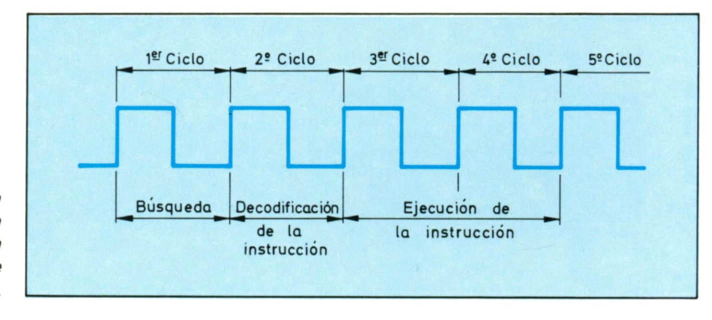
Atendiendo a su funcionamiento, los microprocesadores pueden trabajar en modo síncrono o asíncrono, según que todas las operaciones del mismo tengan o no relación directa con una determinada base de tiempo.

Teniendo en cuenta que todos los microprocesadores actuales son síncronos, las próximas líneas van a referirse con mayor detalle a este modo de funcionamiento, refiriendo aquí únicamente que el modo asíncrono consiste en que el microprocesador ejecuta las instrucciones sin consideración de tiempo alguno, finalizadas éstas emite una señal de fin de instrucción, a partir de cuyo momento empieza a ejecutar la siguiente. Un procedimiento tal que permite un total aprovechamiento del tiempo real de utilización del microprocesador, presenta, sin embargo, el grave inconveniente de precisar un sistema de control tremendamente complejo y poco operativo, por lo que ha sido totalmente abandonado desde hace ya bastante tiempo.

En los microprocesadores síncronos, el oscilador es el responsable de porporcionar el ritmo de ejecución de las instrucciones, siendo éste, al igual que la frecuencia, completamente fijo.

Cada uno de los ciclos de reloj responsables de marcar la base de tiempo de los microprocesadores recibe el nombre de microciclo.

Las instrucciones, convenientemente sincronizadas por el oscilador o reloj, pueden ser ejecutables dentro de uno o varios microciclos.



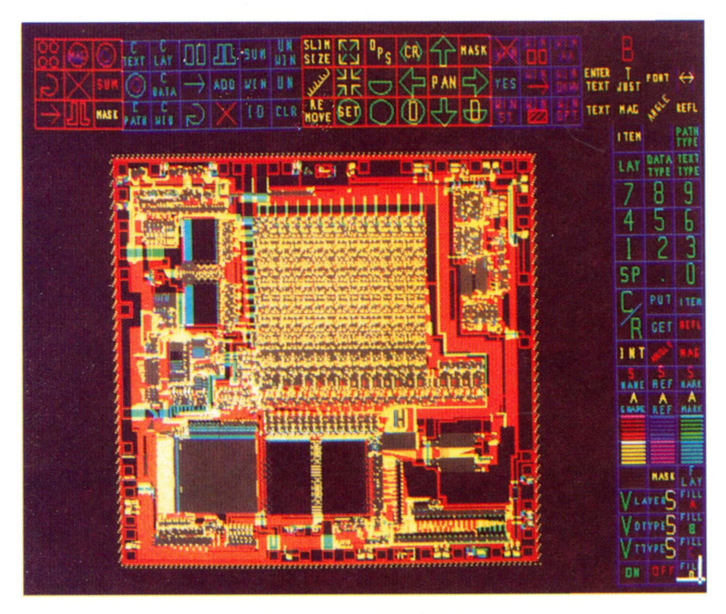
«Timming» o cromograma de la ejecución de una instrucción. La parte de la ejecución propiamente dicha es variable.

La mayor o menor frecuencia del oscilador de sincronismo del microprocesador no es la única componente a tener en cuenta para afirmar si un microprocesador es capaz o no de realizar determinada instrucción más aprisa que otro. La organización del trabajo en la CPU y la rapidez de actuación de los circuitos de entrada/salida, condicionan en mayor

medida la velocidad del microprocesador que la frecuencia de sincronismo.

Los indicadores

En todo el tratamiento que se ha hecho hasta aquí del funcionamiento de las CPU de los microprocesadores, se han obviado expresamente unos elementos de gran importancia funcional que van a aparecer a continuación: los *indicadores*. Supóngase que, para ilustrar la explicación, se dispone de un microprocesador que procesa palabras de 8 bits, que



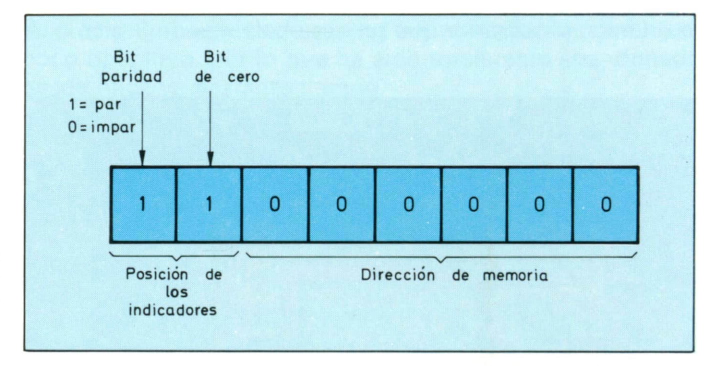
En esta figura se muestra las posibilidades de diseñar microprocesadores y, en general, circuitos integrados, empleando el computador (CAD). Los diferentes colores señalan las partes diferenciadas del conjunto. (Cortesía: ITT Semiconductors).

dispone de una memoria de 64 posiciones cuyas direcciones se corresponden desde el «000000» al «111111» (recordar que $64=2^6$). En cada una de las células de memoria direccionadas por los 6 bits referidos se encuentra información correspondiente a palabras de 8 bits.

Sin embargo, se ha comprobado que para direccionar las 64 células de memoria bastan 6 bits y los otros dos restantes sólo podrían codificar adecuadamente cuatro

operaciones (recordar que $4=2^2$).

Es razonable pensar que a estas cuatro alternativas que se presentan mediante los dos bits «libres» de que se dispone, puedan dárseles aplicaciones más interesantes que las citadas hasta aquí. Pues bien, estos 2 bits se utilizan como indicadores, es decir, como información complementaria que mejora considerablemente la seguridad y la calidad de la información transmitida.



Posición más frecuente de los indicadores de una instrucción. A la derecha queda señalada la dirección de la memoria.

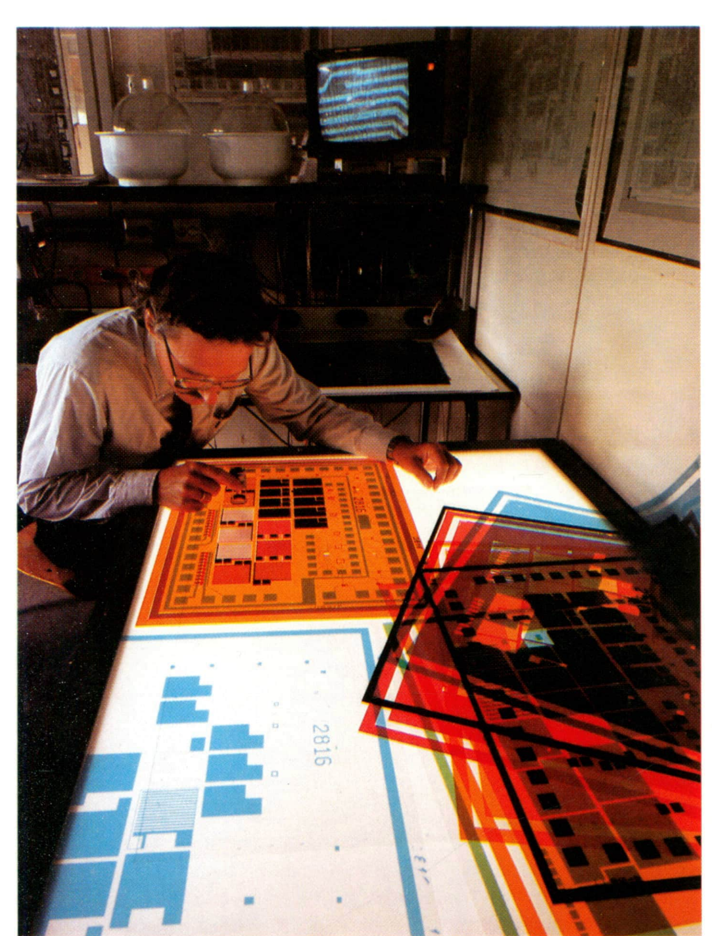
Es frecuente que cada uno de estos bits sea utilizado para indicadores distintos; por ejemplo, el primero de ellos puede ser usado como indicador de cero, de forma que se encuentre siempre a cero cuando el contenido de la información del acumulador contenga algún «1». En el caso de que la información del acumulador fuera siempre «0», el bit de cero estaría en el estado lógico «1». Otro indicador frecuente es el de desbordamiento de capacidad (overflow en inglés) de forma que indica «1» en caso de que, como resultado de una operación, la capacidad de los registros correspondientes sobrepase dicho resultado. También es usual utilizar un indicador de arrastre como resultado de una operación aritmética. El indicador correspondiente señalará un «1» lógico cuando efectivamente haya arrastre a considerar para operar con el dato siguiente.

Es evidente que, en función de la estructura de los microprocesadores que se consideren y de la aplicación a que se les destinen, convendrá utilizar unos determinados indicadores, siendo frecuente que los microprocesadores

dispongan de indicadores seleccionables por el usuario, de forma que éste puede prescribir su utilización de la manera que le parezca conveniente.

Registros auxiliares

Los registros auxiliares, como antes se expuso, corresponden a una familia de registros disponibles según el tipo de microprocesador de que se trate. Aunque su generalización



Comprobación microscópica de cada zona de las máscaras que darán lugar a las diferentes fases de elaboración. Esta misión debe realizarse especialmente en los puntos donde hay conductores muy próximos, en zonas de reducido espesor, etc. (Cortesía: AEG).

es difícil debido a la peculiaridad específica de cada CPU, se citan a continuación los más significativos así como su funciones.

Registro para direcciones. El hecho de que dicho registro exista o no depende, fundamentalmente, del modo de direccionamiento de la memoria. Tiene por misión, como su nombre indica, almacenar temporalmente una dirección de memoria que va a ser utilizada en la ejecución de una instrucción.

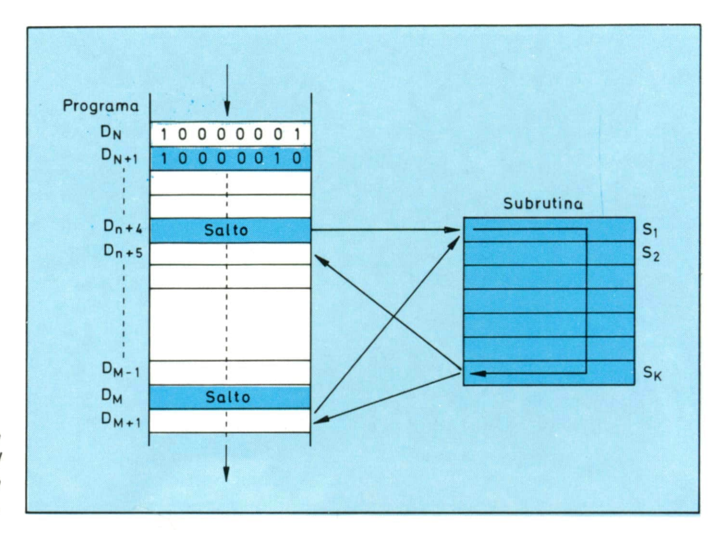


Figura 22. Representación esquemática del funcionamiento de una subrutina.

Registros para subrutinas. En estos registros se almacenará, por ejemplo, la dirección de retorno tras finalizar una subrutina o parte de un programa independiente del flujo principal. Para comprender mejor el significado de lo que es una subrutina y la utilización de este registro especial, véase la figura 22.

Además suelen estar disponibles otros registros auxiliares de menor significación en la CPU de los microprocesadores.

LOS BUSES INTERNOS DE LOS MICROPROCESADORES

Anteriormente se ha expuesto el concepto de bus, por lo

que ahora no se insistirá sobre este concepto. Pero sí se van a tratar, aunque prácticamente sólo sea a título enunciativo, los buses internos de los microprocesadores.

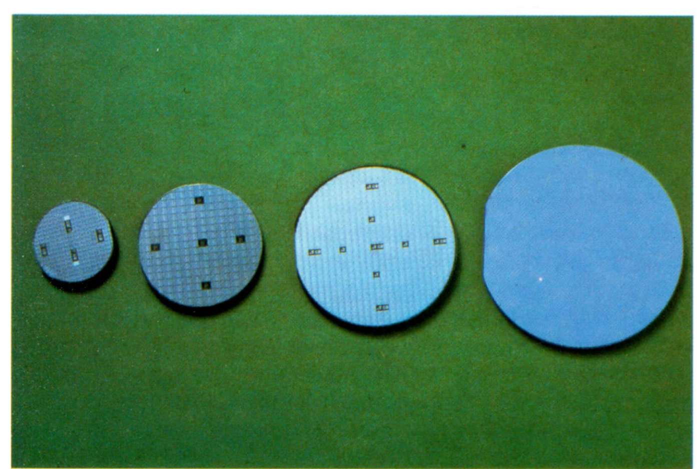
El bus de direcciones. Responsable de transportar la información del direccionamiento de la memoria. Accede a las unidades de entrada y de salida, a la unidad de proceso y a la unidad de memoria. Se accede a él a través de la unidad de proceso y de la unidad de control.

El bus de datos. Responsable de contener los datos que está procesando la CPU en alguna instrucción determinada. Se accede a él «desde» y «a» la unidad de memoria, la unidad de proceso y la unidad de control.

El bus de control. Responsable de contener las instrucciones de control que la CPU proporciona para el adecuado gobierno del resto del microprocesador. Se accede desde la unidad de control a las unidades de entrada/salida, a la unidad de memoria y a la unidad de proceso. Los buses internos disponen de la característica de tri-state, de forma que por cada uno de sus canales puede estar presente un «1», un «0» o el estado de alta impedancia o de desconexión eléctrica (figura 9).

LA MICROPROGRAMACION

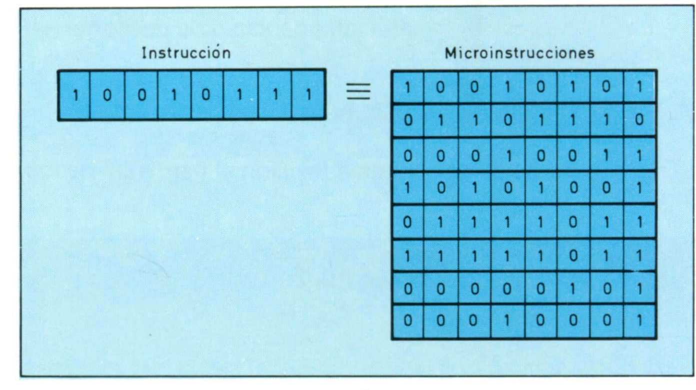
Tras haber pasado una primera revisión al hardware de los



El tamaño de la oblea («wafer», en inglés), viene determinado por la barra original del monocristal. Según sea la superficie de la oblea así será la cantidad de circuitos obtenidos en el mismo proceso. El diámetro de la oblea ha ido evolucionando en los últimos años, desde 2 hasta las actuales 6 pulgadas, con lo que se consigue un mayor rendimiento en la fabricación. (Cortesía: AMD).

microprocesadores y haber estudiado el funcionamiento de la CPU, van a tratarse a continuación aspectos relativos a la *microprogramación*. Pero, ¿que és la microprogramación?.

Cuando se ejecuta una instrucción en un microprocesador lo que ocurre en realidad es que dicha ejecución consiste en la realización de una serie de microórdenes o microinstrucciones elementales que configuran y concretan la ejecución total de la instrucción. Por ejemplo, cuando se ordena al microprocesador que cargue el contenido de cierta dirección de memoria en el acumulador, hay una serie de microinstrucciones, (leer la dirección de memoria, leer el contenido de la dirección de memoria, activar el circuito de salida para que esta información esté disponible e introducir esta información en el acumulador) que, convenientemente encadenadas, ejecutan la instrucción «cargar el acumulador con el contenido de una posición de memoria», de una forma completa.

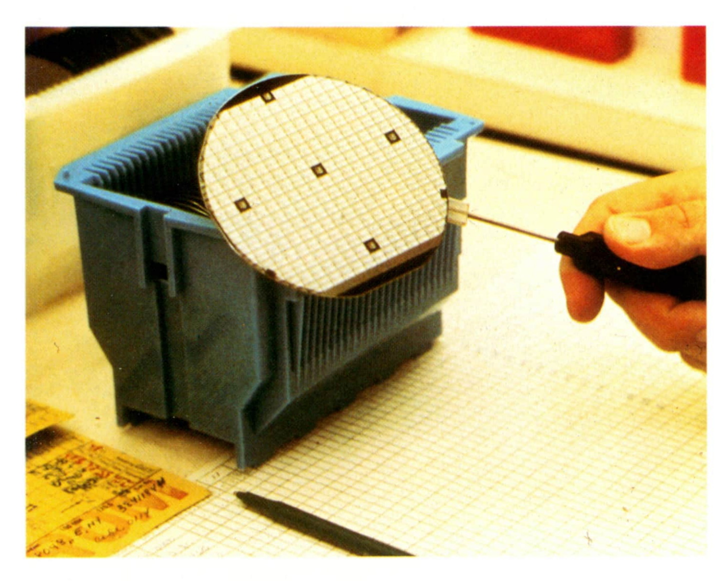


Una instrucción convenientemente formateada (izquierda), equivale a un determinado número de microinstrucciones que son ejecutadas «de corrido» por el microprocesador.

Estas microinstrucciones pueden implantarse de formas diversas: a través del propio programa de ejecución, por medio del propio hardware del microprocesador o bien ser grabadas en memorias externas a las cuales podrá acceder la CPU cuando convenga.

La primera de las opciones es, con mucho, la más engorrosa, ya que obligaría al programador a un arduo trabajo de programación, perdiéndose la mayoría de las veces la idea clara de lo que se está haciendo. El segundo

procedimiento da idea clara de lo que se está haciendo. El segundo procedimiento es rentable únicamente para funciones muy específicas y que vayan a ser aprovechables en grandes series de microprocesadores. El tercero, como se puede comprender, es el sistema más flexible y conveniente de los tres, ya que permite personalizar la forma de la ejecución de las instrucciones para cada microprocesador y cada usuario.

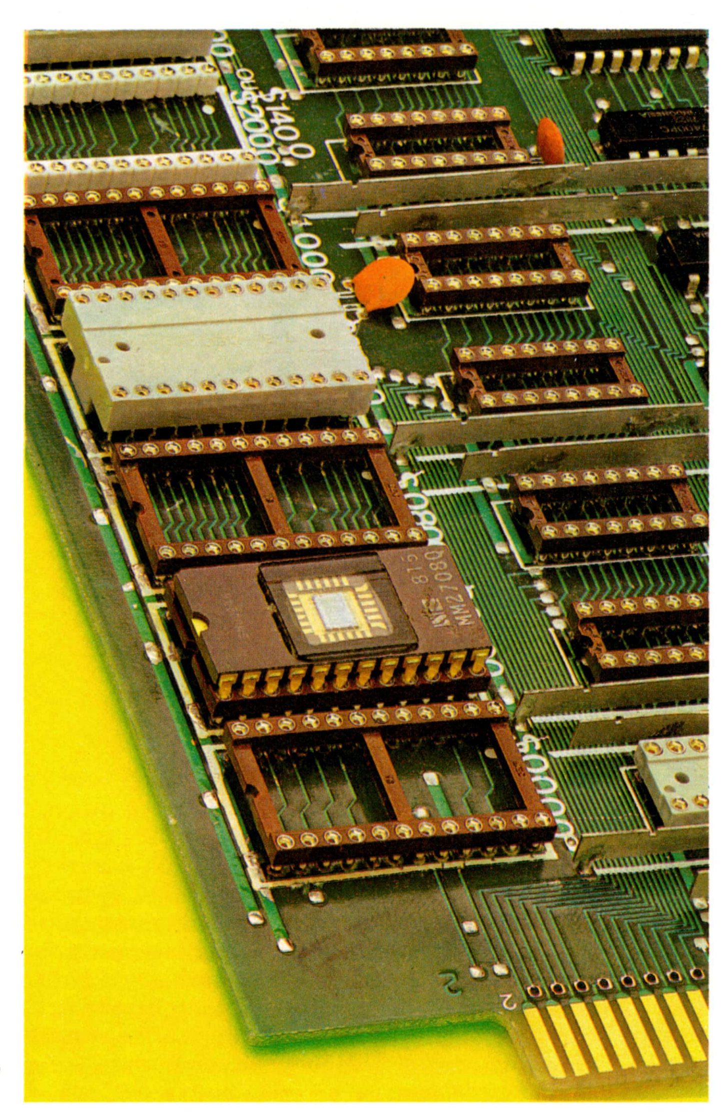


Fase del proceso de fabricación de circuitos integrados, donde se muestran los diferentes elementos que se obtienen de una oblea. (Cortesía: Intel).

Existen microprocesadores que equipan una memoria ROM precisamente prescrita para introducir el microprograma de microinstrucciones, aunque ésta no es la situación más frecuente. Este tipo de microprogramación que está constituida por conexiones integradas en las ROM, al no ser una programación cableada ya no se denomina microprogramación hardware, ni tampoco microprogramación software, por el mismo motivo de ejecución circuital integrada: los microprogramas implantados en los microprocesadores o bien en memorias muertas exteriores que la CPU podrá consultar cuando proceda, se denominan *firmware*.

A pesar de las considerables ventajas de disponer de la

posibilidad de microprogramar un microprocesador, existen también algunos inconvenientes que conviene no olvidar: el primero de ellos es que un microprocesador microprogramable deberá disponer, además de la RAM correspondiente,



Las memorias exteriores, EPROM en la figura, soportan el firmware de los microprocesadores.

una ROM para el microprograma, lo cual frecuentemente encarece y complica la circuitería del propio microprocesador; el segundo de ellos es que cuando se dispone de un microprocesador microprogramado, los programas que se realicen deben someterse a la estructura y jerarquía de las microinstrucciones ya introducidas.

Las microinstrucciones son, en realidad, operaciones aritméticas o lógicas que tratan de la manipulación de datos e instrucciones referidas a los registros y a la memoria.

Cada microprocesador requerirá microinstrucciones estructuralmente adecuadas a la configuración del mismo, si bien hay muchas de ellas que por su uso general tienen ya denominación y codificación comunes como son:

Referidas a la memoria	*Denominación inglesa*	*Código nemónico*
Sumar	Add	ADD
Restar	Substract	SUB
Cargar	Load	LD
Bifurcación (saltar a)	Jump	JMP
Desplazar	Shift	SHT
Saltar	Skip	SKP
Incrementar	Increment	INC
Referidas a los registros		
Cargar registro	Load register	LR
Complementar	Complement	COM
Y lógica registro	And register	RAND
O lógica registro	Or register	ROR
Poner a cero indicador	Reset flag	RFLG
Poner a uno indicador	Set flag	SFLG

INSTRUCCIONES: SU EJECUCION

La ejecución de las instrucciones por parte del microprocesador es la resultante de las tres componentes que se han ido desgranando hasta aquí: el hardware, el software y el firmware. Solamente con una adecuada comprensión de lo que significa y es capaz de realizar cada una de ellas se puede comprender cómo y porqué se ejecuta una instrucción.

Todas las instrucciones presentan una operatoria similar al ser ejecutadas. La ejecución de las instrucciones puede dividirse en dos tiempos comunes a todas ellas: el período de

búsqueda (*fetch* en inglés) y el de ejecución propiamente dicho (*execute*). En lo que se entiende por ejecución hay que considerar dos partes esenciales: la decodificación de la instrucción y la propia ejecución que tendrá, en general, una duración distinta en función de las características propias de cada instrucción y cada microprocesador.

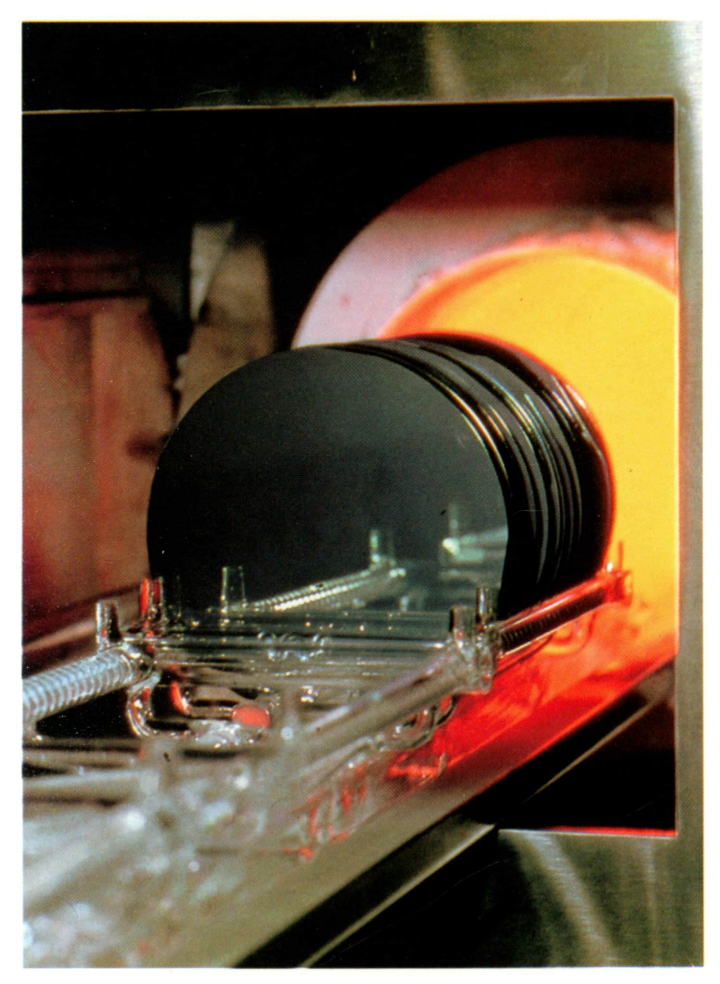


Preparación de las obleas para ser introducidas en los hornos de difusión, en donde se efectuará el dopado. (Cortesía: Fagor).

Con el fin de comprender correctamente cómo se ejecuta una instrucción, es conveniente retomar la estructura interna de un microprocesador (figura 7). En la exposición de la forma en que se ejecutan las instrucciones en los microprocesadores, se ha simplificado al máximo la representación gráfica de los bloques funcionales que intervienen en cada paso con el fin de destacar su importancia funcional en cada uno de los microciclos de la ejecución. Por este mismo motivo se ha evitado representar el bus de control ya que es

evidente que a través de él fluirán continuamente las órdenes de la CPU que se encargarán de hacer ejecutar las instrucciones y será, claro está, su activación factor común en todos los microciclos de ejecución de la instrucción.

Retomando la secuencia de ejecución de las instrucciones de los microprocesadores, el tiempo de búsqueda tiene las mismas características para todas ellas. Puesto que se trata del comienzo de una instrucción, la CPU del microprocesa-



Los hornos de difusión requieren una temperatura suficiente para que los portadores de carga, las sustancias dopadoras, dispuestas normalmente en forma gaseosa, puedan difundirse en las zonas de la oblea que previamente han dispuesto las máscaras. (Cortesía: Standard).

dor no sabe de antemano qué instrucciones se le va a pedir que ejecute. Esto explica el hecho de que los tiempos de búsqueda sean siempre los mismos, con independencia de la instrucción que pretenda ejecutarse.

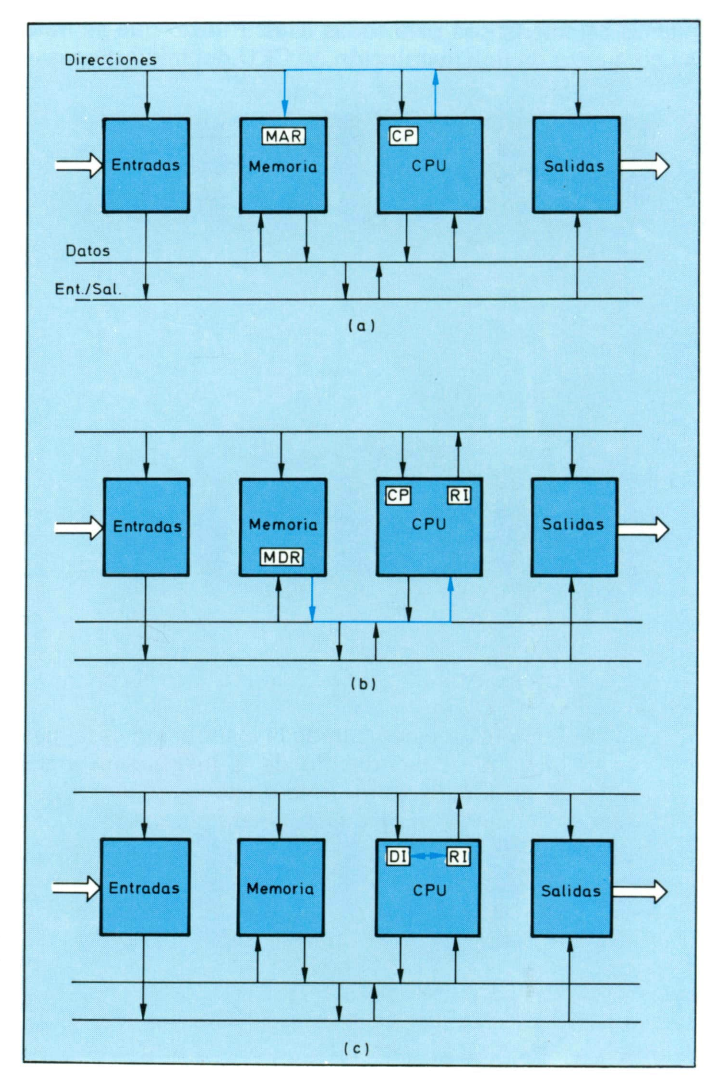


Figura 29. Partes fijas de la ejecución de una instrucción: a) y b) Fase de búsqueda; c) Fase de codificación de la instrucción.

Con mayor detalle, el desarrollo de la búsqueda en la ejecución de una instrucción presenta los siguientes pasos:

El contenido del contador de programas (CP) pasa a través del bus de direcciones de memoria y, si procede, se escribe en el registro de direcciones de memoria o *memory address register* (MAR).

El contenido de la dirección de memoria incluida en el registro de direcciones de memoria (MAR) se pasa al registro de datos de memoria (MDR) y al bus de datos.

La información presente en el bus de datos se pasa al registro de instrucciones (RI). Simultáneamente, el contador de programas se incrementa en una unidad ya que debe señalar la dirección de la instrucción siguiente, que deberá ejecutarse cuando haya finalizado la ejecución de la instrucción en curso.

En este momento habrá finalizado ya la fase de búsqueda de la instrucción, ésta estará convenientemente depositada en el registro de intrucciones y el contador de programas queda dispuesto para direccionar la instrucción siguiente.

A partir de este momento se puede pasar, como se ha dicho, a la ejecución de la instrucción propiamente dicha que, como antes se señaló, consta de dos partes: la decodificación de la instrucción y la propia ejecución. El período de decodificación, al igual que el de búsqueda, es idéntico sea cual sea la instrucción que pretenda ejecutarse. La parte de la instrucción correspondiente al código de operación (figura 29) se pasa al decodificador de instrucciones (DI), y a partir de este instante, con la subsiguiente decodificación de esta instrucción, se inicia la parte específica de la ejecución atendiendo a las características de cada instrucción.

La parte de la propia ejecución de la instrucción es la más específica y distinta, dependiendo de la instrucción y del microprocesador de que se trate. No obstante, el factor que más significativamente influye en la forma de ejecución de las instrucciones es el número de palabras de cada instrucción. Habida cuenta que el detalle de la explicación de la forma de ejecutar las instrucciones, según los distintos números de palabras y microprocesadores que las van a ejecutar, obedece a un comportamiento distinto y específico que en cada caso resultaría muy engorroso, no va a irse más allá en este apartado que en la referencia al estudio de las instrucciones que trataremos en el siguiente libro.

TIPOS DE DIRECCIONAMIENTO

Hasta aquí se ha referido que las instrucciones y los datos presentes en los programas están almacenados en la memoria en determinadas direcciones, parece evidente que el modo de acceder a estas informaciones y datos es el de referir la dirección en la que se encuentran, sin otro tipo de consideraciones. No obstante, este aparentemente simple procedimiento es, en la práctica, muy engorroso, por lo que, como el lector podrá comprobar a continuación, existe una amplia gama de modos de direccionamiento con los que cada microprocesador obtiene una optimización de su operatoria que no obtendría por procedimientos más simplistas como el señalado. Convendrá recordar que la función de la CPU es la de dirigir esta especie de ballet ordenado que constituye el control de microprocesador.

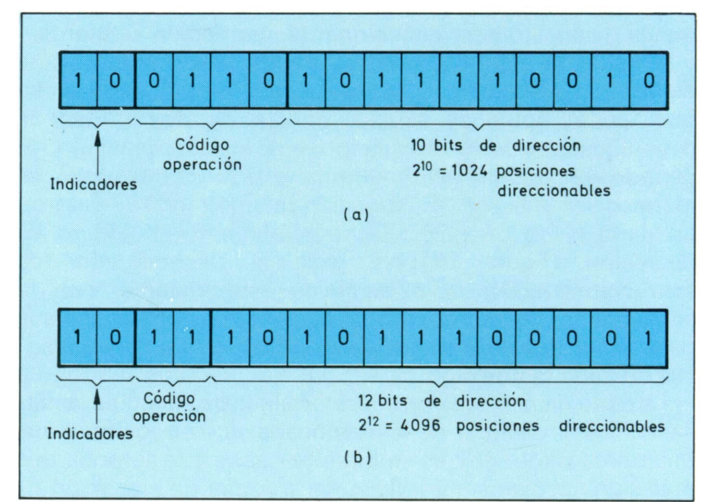
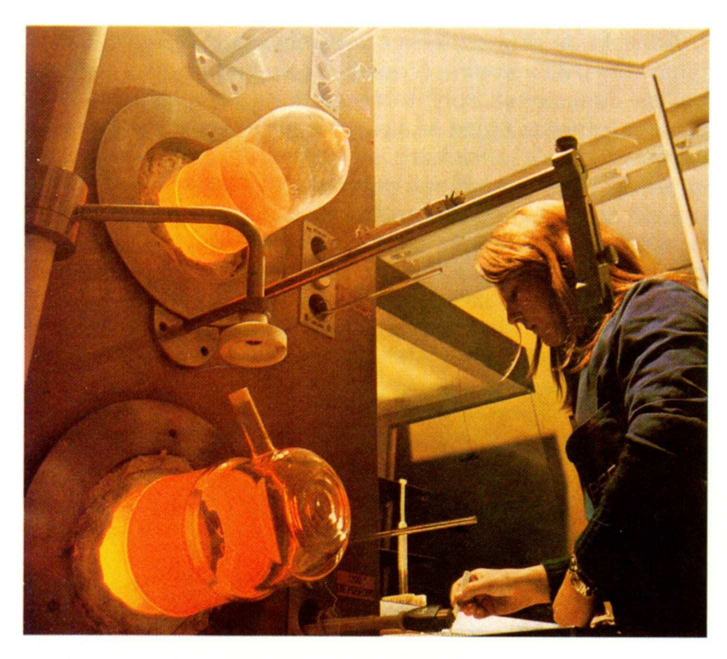


Figura 30. Formatos de instrucciones de 16 bits; a) Con campo de direcciones de 10 bits; b) Con campo de direcciones de 12 bits.

Como se ha señalado, el simple direccionamiento directo del tipo expuesto anteriormente no es el preferido en la práctica para direccionar instrucciones y datos contenidos en la memoria. Las razones de que esto sea así son diversas:

Reducir la longitud de las palabras destinadas al direccionamento de las memorias.



Horno de difusión de elementos dopadores sobre las obleas. La temperatura y la atmósfera han de ser perfecta y rigurosamente controladas para favorecer la difusión. (Cortesía: Piher Semiconductores).

Flexibilizar la información que puede almacenarse en las memorias, haciendo con ello que las direcciones sean móviles.

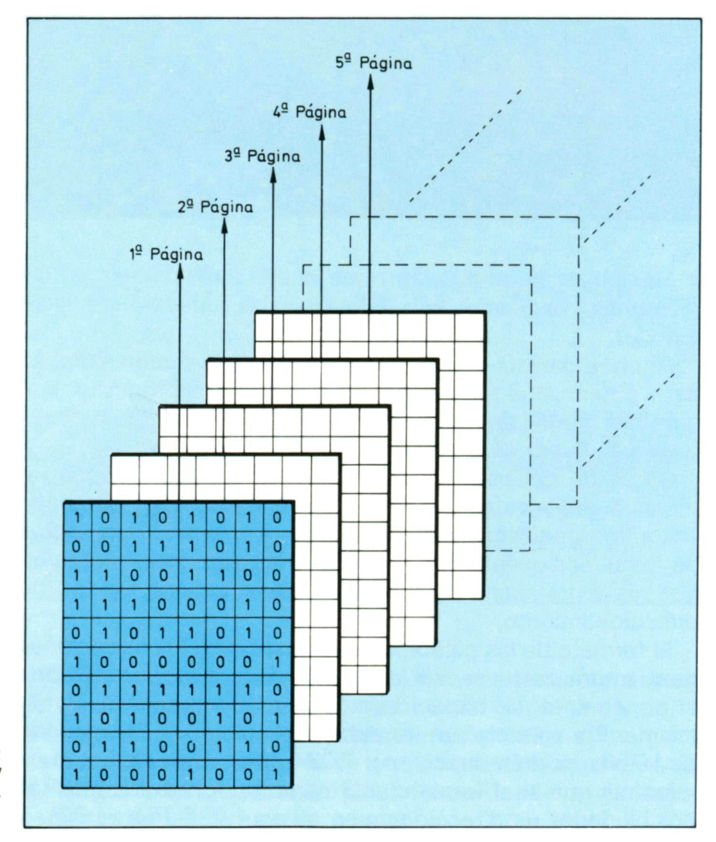
Aunque parezca difícil comprender cómo puede simplificar y potenciar el funcionamiento de un microprocesador su gama de modos de direccionamiento, la atenta lectura de las próximas líneas sacará al lector de dudas.

Antes de desgranar con detalle los distintos modos de direccionamiento convendrá tratar algunos aspectos relativos a la organización de la memoria, así como los formatos de las direcciones de memoria, por ser ésta la información que va a tratarse por medio de los distintos modos de direccionamiento.

El formato de las palabras que constituyen las direcciones de memoria, esto es, su longitud y estructura, condiciona enormemente la capacidad de direccionamiento de la misma. Por ejemplo, un formato de direcciones de memoria de 10 bits, podrán direccionar 1.024 posiciones de memoria, mientras que si el formato está constituido por 12 bits, las posibilidades de direccionamiento son 4.096 (figura 30).

Además de esta consideración referida al formato de las direcciones de memoria (convendrá no confundir el formato de las direcciones con la longitud de las palabras de la información contenida en la memoria), es preciso aclarar la organización de la memoria en fragmentos, que en el argot informático se denominan *páginas*. Esta estructura permite una organización de las memorias, que se ha revelado muy conveniente frente a la estructura continua de una palabra detrás de otra hasta el final.

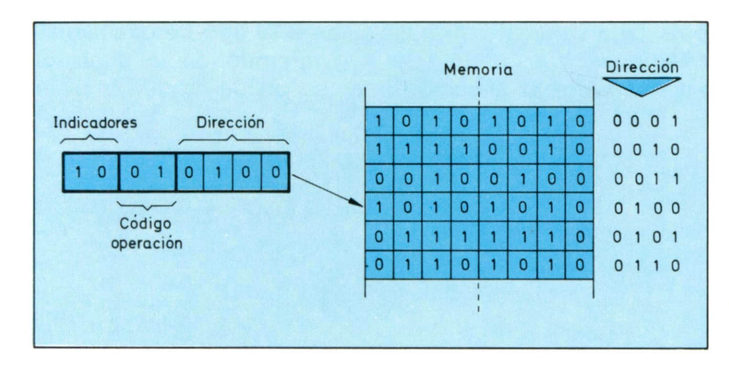
Puntualizados estos dos aspectos, se relacionan a continuación los distintos modos de direccionamiento más usuales que pueden efectuarse con los microprocesadores actuales:



Memoria estructurada en páginas. Símil estructural de la sucesión de varias de ellas.

— Direccionamiento directo.
— Direccionamiento inmediato.
— Direccionamiento indirecto.
— Direccionamientos preindexado y postindexado (indexado en general).
— Direccionamiento relativo.

El denominado *direccionamiento directo* es aquél por el cual la parte de la información que contiene la dirección de memoria contiene directamente la dirección de la posición de memoria en la cual pretende actuarse. Es, en sí mismo, el tipo de direccionamiento por excelencia y, conceptualmente, el más sencillo de entender, a pesar de lo cual, como se ha dicho no es ni con mucho el más conveniente.



Direccionamiento directo con las diferentes instrucciones.

El *direccionamiento inmediato* no constituye, desde un punto de vista riguroso, un direccionamiento propiamente dicho, ya que la instrucción no contiene dirección alguna, pues en la parte reservada a la dirección se localiza un dato u operando de la instrucción u operación que el microprocesador realiza. En la figura 34 puede apreciarse sinópticamente el modo de direccionamiento inmediato.

En el caso del *direccionamiento indirecto*, uno de los más frecuentemente usados, la dirección referida en la instrucción que se procesa no contiene la dirección efectiva o final que se va a tratar sino una dirección intermedia que sirve de puente. Con ello, el direccionamiento propiamente dicho se efectúa en dos pasos: un primer paso de direccionamiento a la dirección intermedia y un segundo paso de la dirección intermedia a la dirección final, ya que el contenido de la

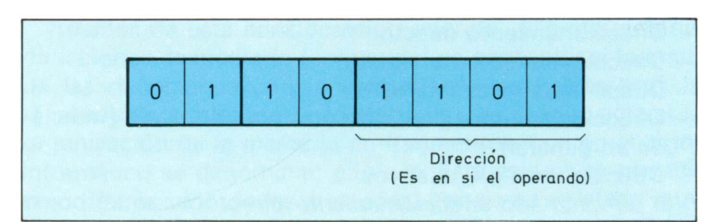


Figura 34. Direccionamiento inmediato.

dirección intermedia es la dirección final. Aunque este modo de direccionamiento es conceptualmente más complejo que los dos tipos citados anteriormente, es imprescindible su utilización cuando la memoria presenta la estructura de páginas citadas antes y se pretende pasar de una página a otra. Otra ventaja considerable de este tipo de direccionamiento es que, dado que el contenido de la dirección intermedia es la dirección final, se puede modificar dicho

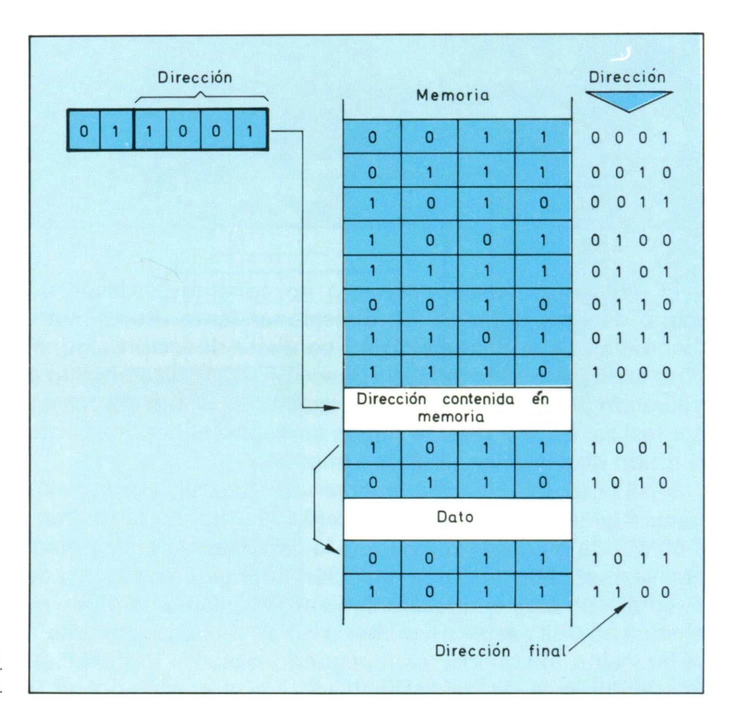


Figura 35. Direccionamiento indirecto.

contenido, pudiendo acceder desde una misma dirección original a tantas direcciones finales como contenidos distintos se le adjudiquen a la posición de la dirección intermedia. En la figura 35 se representa este modo de direccionamiento.



Mientras se efectúan las diferentes fases de dopado, las obleas de semiconductor han de quedar libres de contaminación, por ello el personal técnico que las maneja va protegido adecuadamente, y las operaciones se efectúan en una atmósfera libre de polvo y de gases nocivos. A estas salas de trabajo, se las denomina «salas blancas». (Cortesía: Hewlett Packard).

El *direccionamiento indexado* es, en sí mismo, un modo de direccionamiento indirecto, pero con una operatoria completamente distinta de la anterior. La dirección final a la que pretende accederse es el resultado de la adición entre el contenido de la dirección de memoria indicada en la posición de memoria de la instrucción correspondiente y la información contenida en un registro auxiliar especial llamado *registro índice*.

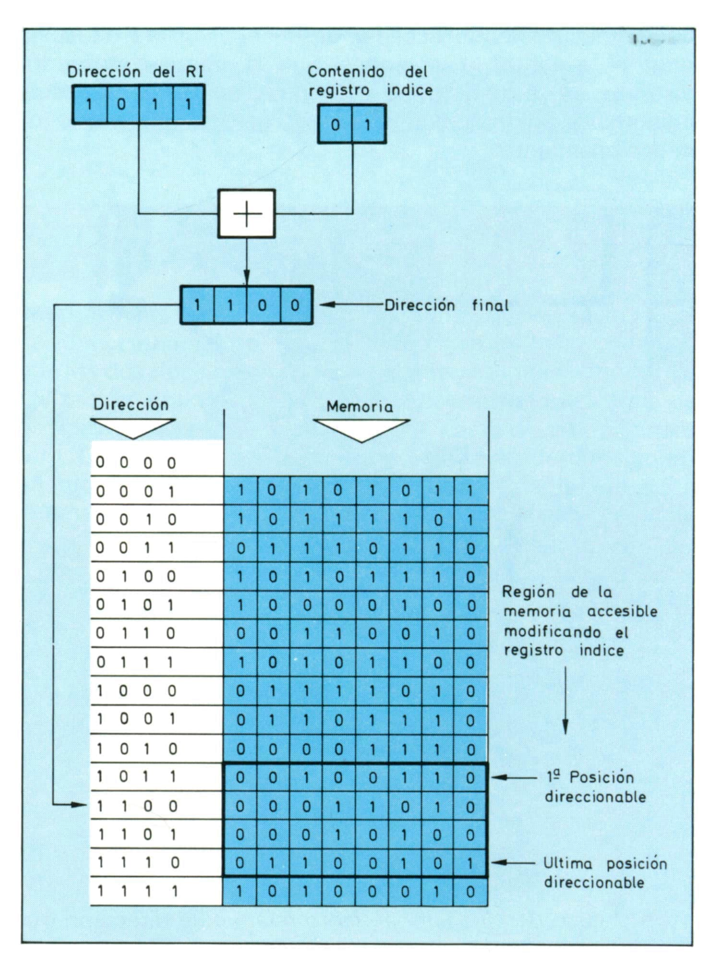


Figura 37. Direccionamiento preindexado.

Las modificaciones de este registro índice permiten acceder, por mor de la operación entre sumandos distintos, a direcciones distintas. Lo más frecuente es que el registro índice se vaya incrementando unitariamente después de cada una de las operaciones ejecutadas por el microprocesador, recorriendo de esta forma todas las posiciones de la memoria a partir de la posición de la memoria direccionada.

En las figuras 37 y 38 se puede comprobar la diferencia entre el direccionamiento preindexado y el postindexado.

Para distinguir si se está recurriendo a un direccionamiento «pre» o «postindexado» se usa frecuentemente un bit indicativo, llamado *bit de instrucción*, que se utiliza para este menester. Suele ser habitual también que para almacenar las direcciones se use un registro temporal especial o registro de direcciones.

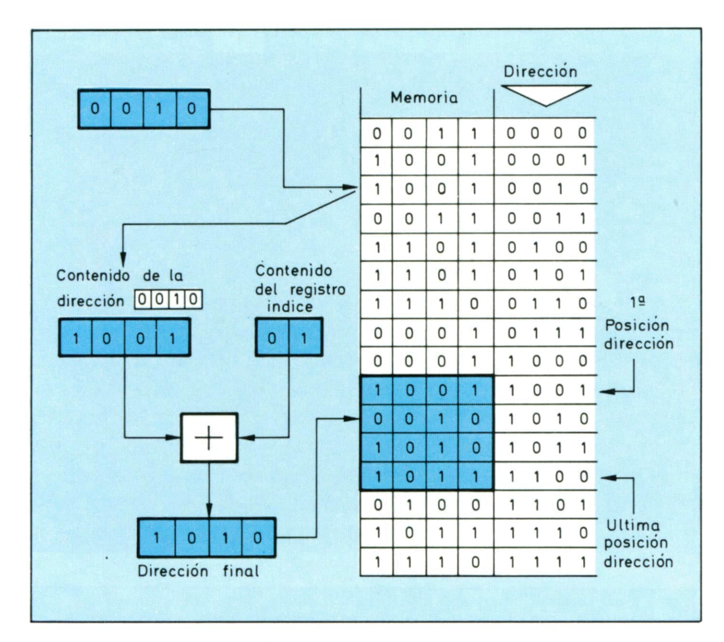


Figura 38. Direccionamiento postindexado.

En el caso del *direccionamiento relativo*, la dirección que proporciona el registro de instrucciones ha de añadirse a una dirección especial, denominada de referencia. Esta dirección de referencia, que es en realidad la que da nombre de direccionamiento relativo a este modo, puede ser una dirección cualquiera contenida en un registro especial, que es el caso más general, o bien, el número de la página direccionada, cosa bastante frecuente. Suele incorporarse también, como en el caso del direccionamiento indexado, un bit o más de reconocimiento del tipo de direccionamiento relativo que se efectúe. El direccionamiento relativo puede ser, pues, de varios tipos: direccionamiento por base y

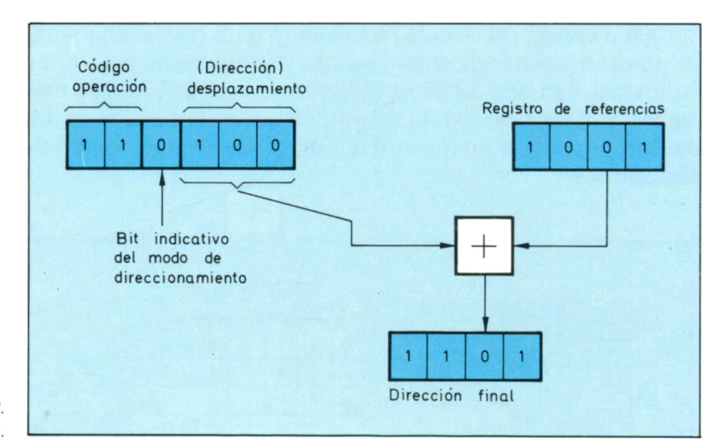


Figura 39.
Direccionamiento relativo.

desplazamiento, direccionamiento referido a la dirección actual, direccionamiento relativo por páginas, etc.

En el primer caso, esto es, en el direccionamiento por base y desplazamiento, la base o referencia se encuentra almacenada en un registro especial, llamado registro de referencias. A este registro, mediante este modo de direccionamiento, se le añade la parte de la dirección de la instrucción de que se trate, produciéndose el desplazamiento señalado. (Ver detalle en la figura 39). El resultado de este desplazamiento

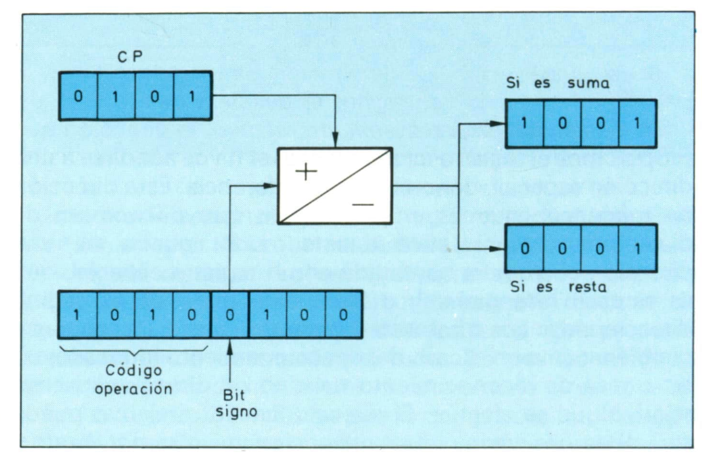
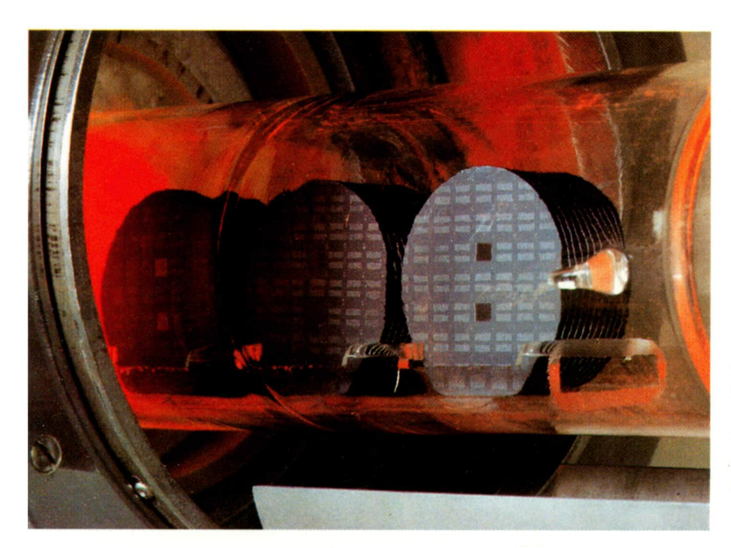


Figura 40.
Direccionamiento relativo
a la dirección actual.

es la dirección final o efectiva del direccionamiento.

En el caso del direccionamiento relativo a la dirección actual, el contador de programa (CP) proporciona una dirección la cual, convenientemente suplementada mediante la dirección del registro de instrucciones (siendo el suplemento sustractivo o aditivo según el bit de signo), proporciona la dirección final (figura 40).



Proceso de difusión de elementos dopadores en un grupo de obleas. La elevada temperatura permite que la difusión profundice mejor en el monocristal. (Cortesía: AEG).

En el direccionamiento relativo por página la base del desplazamiento es el número de la página direccionada. Dependiendo del bit de signo, el desplazamiento será de signo positivo o negativo.

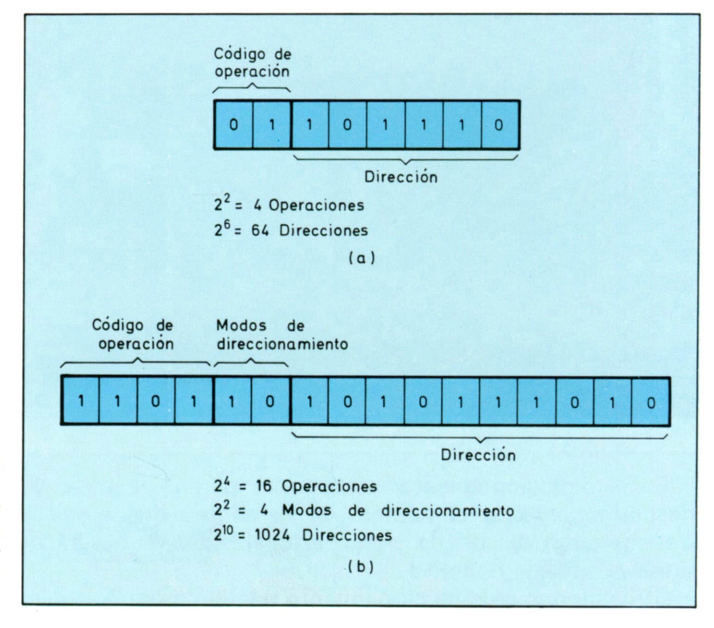
Otros modos de direccionamiento relativo menos usuales son comandados por algunos microprocesadores, si bien no se tratarán en este apartado por ser de aplicación restringida.

Es evidente que los distintos modos de direccionamiento que se han tratado en estas páginas, así como otros no referidos en ellas, habrán aportado al lector una clara idea respecto a la enorme flexibilidad y adaptación a las necesidades específicas de cada usuario que los distintos procedimientos aportan, lejos del rígido direccionamiento absoluto que limita los grados de libertad del técnico y complica enormemente los programas, que pueden simplifi-

carse con la flexibilidad estructural que los modos de direccionamiento permiten en el manejo de los datos e instrucciones.

INSTRUCCIONES DE LOS MICROPROCESADORES: SU CLASIFICACION

El concepto de instrucción ha sido ampliamente tratado en diferentes apartados de este libro desde diversos



Estructura de instrucciones de 8 bits (a) y de 16 bits (b) más corrientes, incluyendo código de operación y modos de direccionamiento.

puntos de vista: cómo eran programadas, ejecutadas, etc. Pero no habían sido tratadas en sí mismas ni clasificadas en categorías. Aunque este tratamiento pueda parecer una contradicción desde una óptica pedagógica no es así, ya que para tratar la instrucción desde el punto de vista de su formato y clasificación era preciso tratar aspectos fundamentales del conjunto del microprocesador y su funcionamiento que no podían obviarse.

Las palabras de los microprocesadores pueden ser, como se ha dicho, de diversas longitudes, por lo que las partes correspondientes a la dirección de memoria y al código de operación estarán distribuidas también de formas distintas. Por ejemplo, es frecuente que en el caso de longitudes de palabras de ocho bits, seis sean utilizados para direccionar las posiciones de memoria y los otros dos lo sean para indicar el código de operación. Si, sin embargo, la longitud



El control de todos los parámetros que intervienen en un horno de difusión ha de ser perfecto, de ello da idea la complejidad cada vez mayor de los equipos computarizados que controlan los diferentes procesos de difusión. (Cortesía: Standard).

de la palabra es de dieciséis bits, suelen usarse diez bits para la dirección de memoria, cuatro para el código de operación y otros dos, por ejemplo, para señalar los modos de direccionamiento. Aunque el lector pueda pensarlo así, la longitud de la palabra no condiciona tan drásticamente la capacidad de direccionamiento ni el manejo de las operaciones distintas como los ejemplos anteriores podrían señalar. Para el caso de ocho bits, si ello es preciso, se utilizan instrucciones cuyo formato está configurado por dos o más palabras de ocho bits, adjudicándose a cada una de ellas el código de operación, la dirección de memoria correspondiente y, si ha lugar, los bits de paridad o de direccionamiento correspondientes. Este procedimiento de formatear las instrucciones no es exclusivo de ningún tipo de microprocesador, más bien al contrario, con un mismo microprocesador se pueden formatear instrucciones cuya longitud sea de una o más palabras.

Llegado a este punto convendrá clasificar las instrucciones, no atendiendo a los formatos, que es en todo caso un



Fase de verificación y control de las obleas con los circuitos individuales ya formados. Este proceso se verifica en ambientes controlados de luz, temperatura y vapores nocivos; son las llamadas «salas blancas». (Cortesía: Standard).

aspecto no fundamental de su propia configuración, sino atendiendo a qué partes del microprocesador hacen referencia las instrucciones:

— Instrucciones referentes a la memoria.

— Instrucciones referentes a un registro.
— Instrucciones a ejecutar entre registros.
— Instrucciones especiales.

Cada una de estas familias de instrucciones va a ser tratada con más detalle en los próximos apartados.

INSTRUCCIONES REFERIDAS A MEMORIA

Las instrucciones que hacen referencia a la memoria se refieren a aquellas instrucciones que procesan un dato o información que se encuentra situado en la memoria. Estas son las más frecuentes, aunque no por ello menos interesantes de abordar.

En el juego de instrucciones de los microprocesadores han de existir necesariamente instrucciones que permitan operar y trabajar con informaciones contenidas en la memoria.

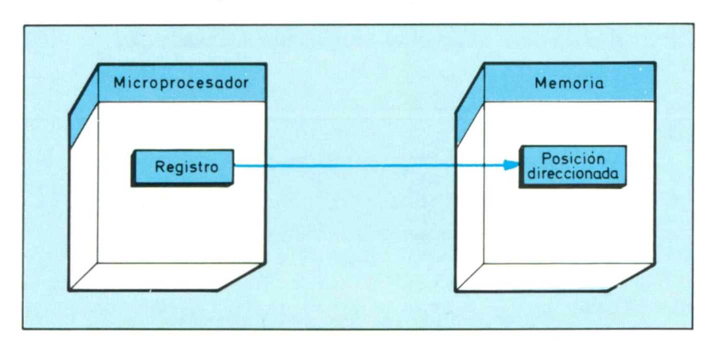


Figura 45. Esquema sinóptico de transferencia del contenido de un registro a la memoria.

Dentro de esta familia hay varios tipos de instrucciones que conviene diferenciar:

Instrucciones que tratan sobre la transferencia de información entre la CPU del microprocesador y la propia memoria.

Instrucciones que tratan sobre las operaciones aritméticas y lógicas realizadas por la UAL con informaciones contenidas en la memoria.

En la primera clase de instrucciones, esto es, entre las que transfieren información entre la CPU y la memoria, se produce transferencia de información entre el contenido de una dirección de memoria y un registro de la CPU.

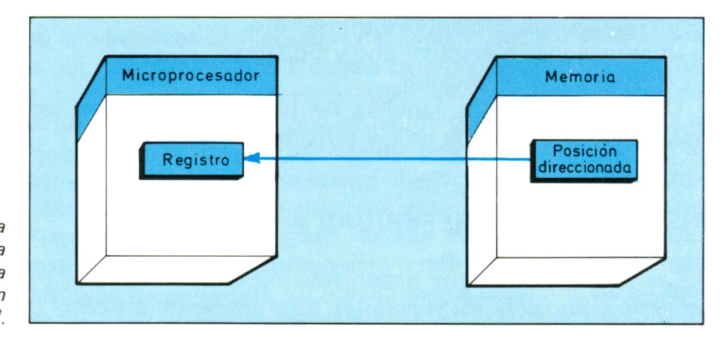


Figura 46. Esquema sinóptico de transferencia del contenido de una posición de memoria a un registro de la CPU.

La CPU puede tener uno o varios registros distintos, a los que la información contenida en la memoria puede ser trasvasada. En las figuras 45 y 46 se representa gráficamente el significado de estas instrucciones. Para que ello se produzca, la CPU ha de dar las instrucciones adecuadas. Estas instrucciones serán formatadas de manera distinta si la CPU tiene uno o varios registros (figuras 47 y 48).

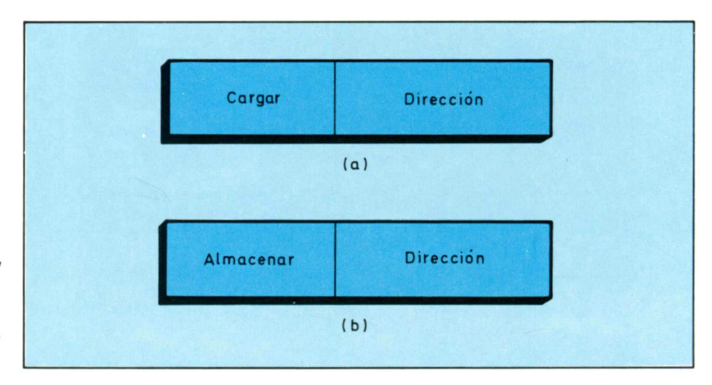


Figura 47. a) Formato de una instrucción por la que se carga un registro con el contenido de determinada dirección de memoria;
b) Formato de instrucción por la que se almacena en determinada dirección el contenido de un registro, (caso de un microprocesador con un solo registro).

En el caso de que haya más de uno, el número señalado en el campo de la instrucción correspondiente indicará en cual de ellos debe almacenarse la información que se ha extraído de la memoria, o bien de qué registro se extrae la información para introducirla en una determinada posición de memoria cuando se trate de la función inversa.

Para indicar nemotécnicamente estas instrucciones suele usarse un procedimiento gráfico, por el cual el contenido de un registro o de una posición de memoria se indica dentro de un paréntesis y mediante una flecha se señala la transferencia de la información. (en la figura 49 se aprecia la representación nemónica de la transferencia de información entre un registro de la CPU y la memoria o viceversa).

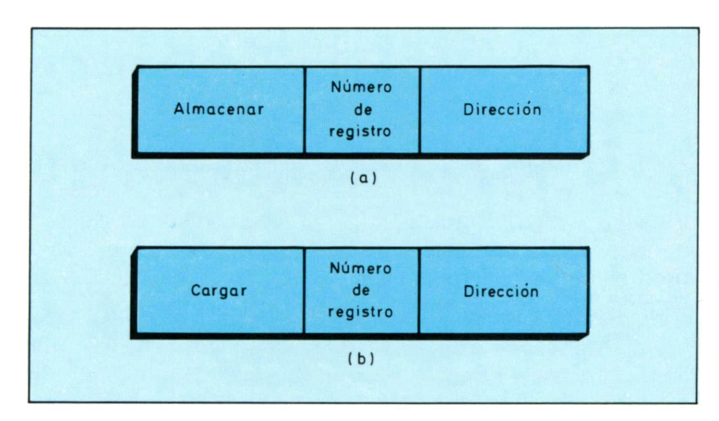


Figura 48. Cargar un determinado registro (b) y almacenar en memoria su contenido (a), mediante instrucciones formateadas para microprocesadores de más de un registro.

En cuanto a las instrucciones que tratan sobre las operaciones aritméticas y lógicas realizadas por la UAL con informaciones contenidas en la memoria, convendrá decir que las operaciones más frecuentes en los microprocesadores son la suma, la resta, la comparación lógica o binaria, las funciones lógicas OR, AND, O-exclusiva, etc. Si la CPU del microprocesador contiene más de un registro, como en el caso anterior, el número deberá venir indicado en el formato de la instrucción. Estas instrucciones, como su propia

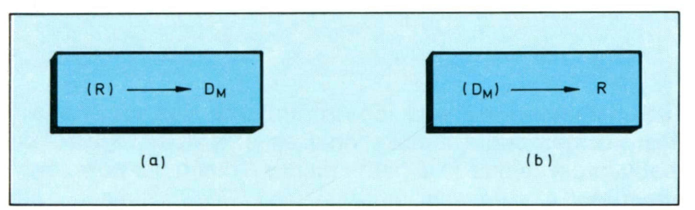
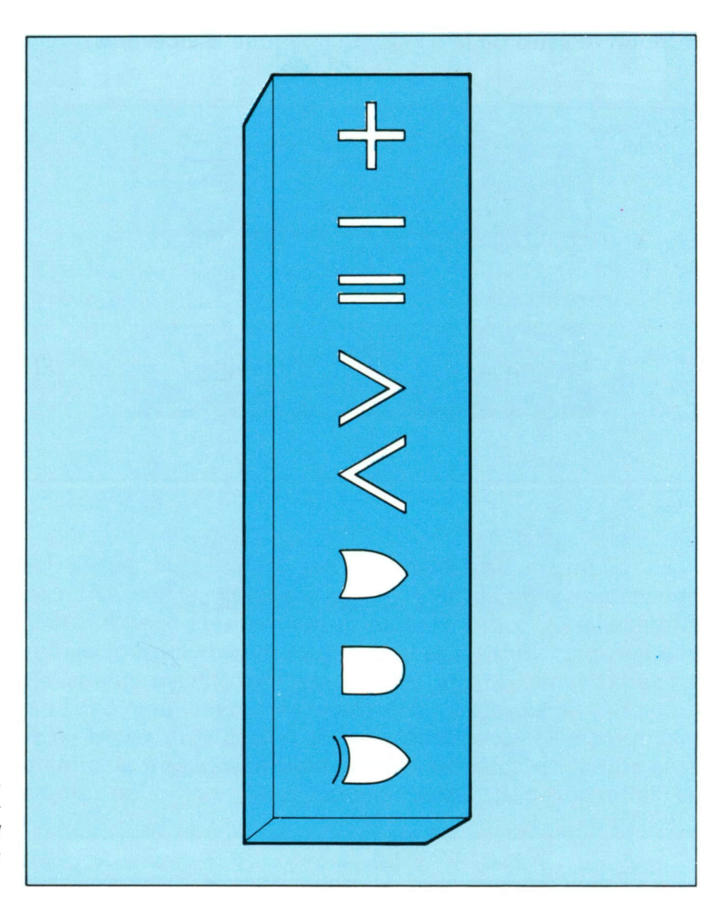


Figura 49. Simbología nemónica de las instrucciones; a) Almacenar el contenido del registro R en la dirección de memoria D_M; b) Cargar en el registro R el contenido de la dirección de memoria D_M.

enunciado clasificatorio señala, realizan una operación entre la información contenida en la dirección de memoria que se señala en el campo de dirección de la instrucción y el contenido de un registro de la CPU.



Operadores más frecuentes efectuadas por la UAL (unidad aritmético-lógica) de los microprocesadores.

El resultado de esta operación, una vez ejecutada la instrucción, podrá almacenarse en el propio registro que había proporcionado el dato anterior o cualquier posición de memoria.

INSTRUCCIONES OPERATIVAS CON REGISTROS

En el apartado anterior han quedado englobadas las dos primeras familias de instrucciones señaladas en el apartado correspondiente a la clasificación de las instrucciones.

La situación es distinta cuando la CPU del microprocesador tiene más de un registro y se trata de ejecutar instrucciones con informaciones contenidas en ellos. El formato de las instrucciones correspondientes a operaciones entre registros se señala en la figura 51. También es distinta la situación cuando se trata de estudiar instrucciones que se refieren a un solo registro, (no confundir con los casos tratados en el apartado anterior, donde además de la información contenida en un registro aparece la información contenida en la memoria).

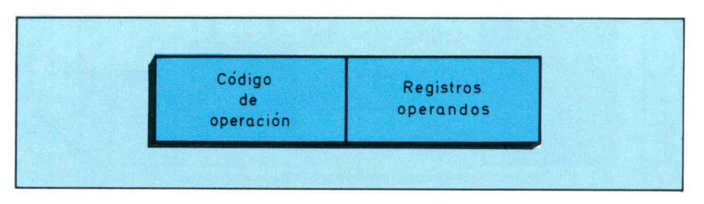


Figura 51. Formato general de operaciones entre registros.

Tratando en primer lugar el caso de instrucciones referidas a dos registros, ocurre que la CPU da las instrucciones para que se efectúen las operaciones precisas entre el contenido de ambos registros. El resultado de la operación entre los contenidos de ambos registros, se almacenará en cualquiera de ellos dos, según la instrucción de que se trate. El formato de una tal instrucción se representa en la figura 52.

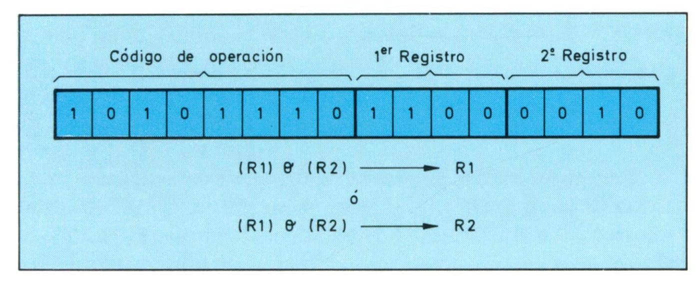


Figura 52. Formato de una instrucción de 16 bits de operación entre registros y representación nemónica de dicha operación, almacenando el resultado en cada caso en uno de los dos registros.

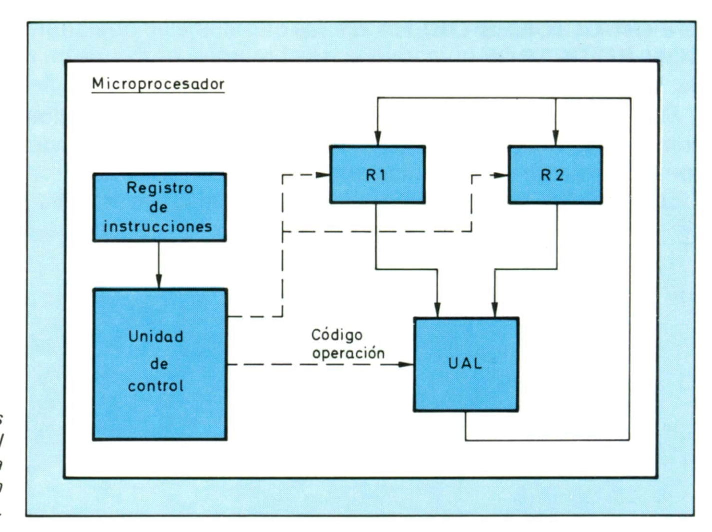


Figura 53. Señales internas del microprocesador para ejecutar una operación entre registros.

En el caso de que uno de los registros sea considerado fijo, ya no es preciso indicarlo en la instrucción y la propia instrucción ya tiene en cuenta esta consideración.

Obsérvese en la figura 53 el detalle de las acciones

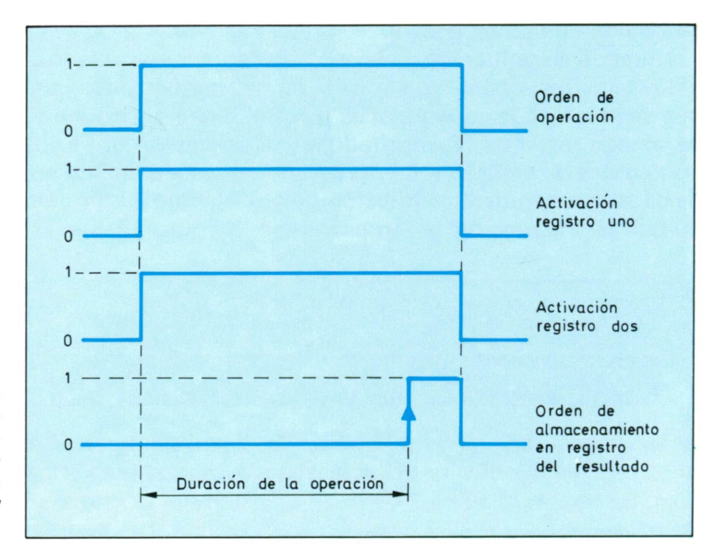


Figura 54. Diagrama de tiempos de las señales de mando proporcionadas por la CPU, para ejecutar una operación entre registros del microprocesador.

efectuadas por la CPU para efectuar una operación entre registros. El diagrama de tiempos extractado para esta instrucción se representa en la figura 54.

Cuando se trata de instrucciones referidas a un solo registro el formato adecuado de la instrucción presenta la estructura señalada en la figura 55. Cada microprocesador posee su juego de instrucciones correspondiente para operar con un solo registro. Véase, en la figura señalada antes, la diferencia estructural en los casos en que el registro sobre el que se opera es seleccionable o no por el programa.

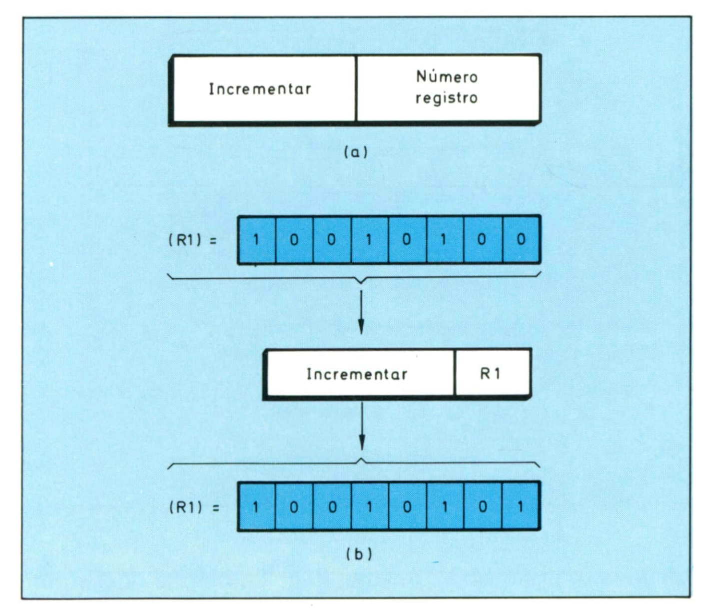


Figura 55. a) Instrucción de incrementar un registro; b) Ejemplo de incrementación de un registro.

Las instrucciones sobre un único registro más frecuentes en los microprocesadores son las siguientes:

— Incremento y decremento.
— Desplazamiento y rotación.
— Escritura y lectura.

Evidentemente, esta relación no es exhaustiva y, como el lector podrá comprobar en el próximo libro, cada microprocesador presenta un juego de instrucciones propio y personalizado.

Se estudia a continuación con más detalle cada una de estas familias. Instrucciones de *incremento* y *decremento* del contenido de un registro: La instrucción de incrementar el contenido del registro de que se trate consiste, como su nombre indica, en aumentar en una unidad («1» lógico) el contenido de dicho registro. Decrementar consistirá por analogía, en sustraer un «1» lógico del citado registro (figuras 55 y 56). Para entender cómo trabajan estas instrucciones conviene prestar atención al siguiente caso.

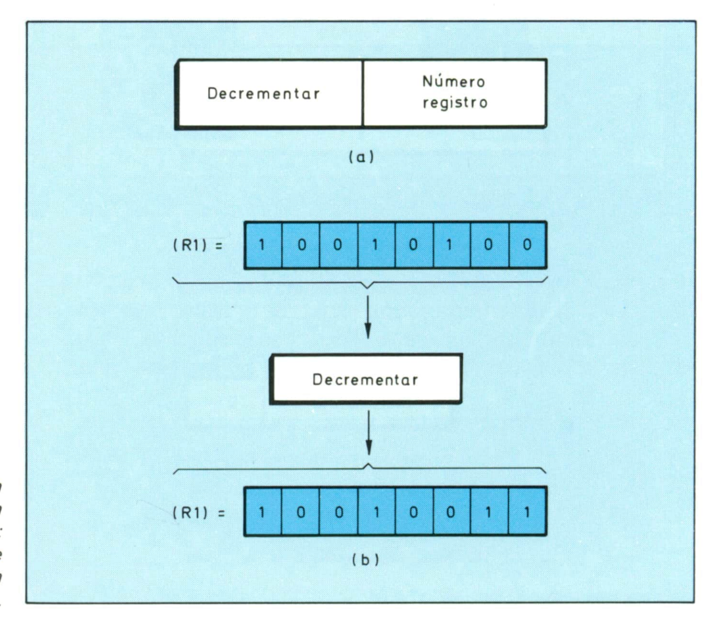


Figura 56. a) Instrucción de decrementar un registro; b) Ejemplo de decrementación de un registro.

Ejemplo: si el contenido de un registro es «11111111», al decrementarlo se convertirá «11111110». Si el contenido de un registro es «01111111» el resultado de incrementarlo consistirá en añadir un «1» lógico, pasando a convertirse el contenido del registro en «10000000».

Desplazamiento y rotación

Mediante esta instrucción se desplaza o corre la información contenida en el registro de que se trate. Este tipo de

instrucción debe poseer, por ello, una parte correspondiente a la selección de la *rotación* en un sentido o en otro, o bien del *desplazamiento* en un sentido o en otro. La diferencia entre el desplazamiento y la rotación es que, en el primero, la

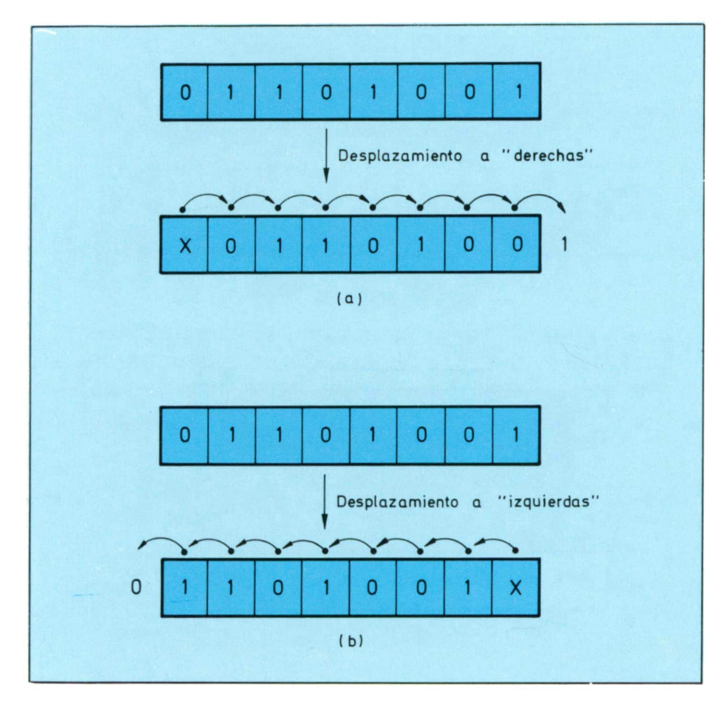


Figura 57. a) Desplazamiento a derechas de un registro; b) Desplazamiento a izquierdas de un registro.

información contenida en el registro se desplaza totalmente en un sentido o en otro. En el caso de la rotación, los bits salientes por un extremo de registro, como resultado del desplazamiento, se ingresan en el mismo orden por el otro extremo del mismo. Ver las figuras 57 y 58, donde se aprecia la diferencia entre ambas instrucciones.

Las instrucciones de *lectura* y *escritura*, como el lector conoce ya, consisten en introducir y extraer la información contenida en un registro. En el primer caso se tratará de escritura y en el segundo de lectura. Es más conveniente, sin embargo, poder leer o escribir la información presente en uno o algunos de los bits de un registro (no en todos), ya

que con ello se consigue una mayor velocidad de operación. Estos procedimientos se siguen a través de la aplicación de una llamada «plantilla» o «máscara».

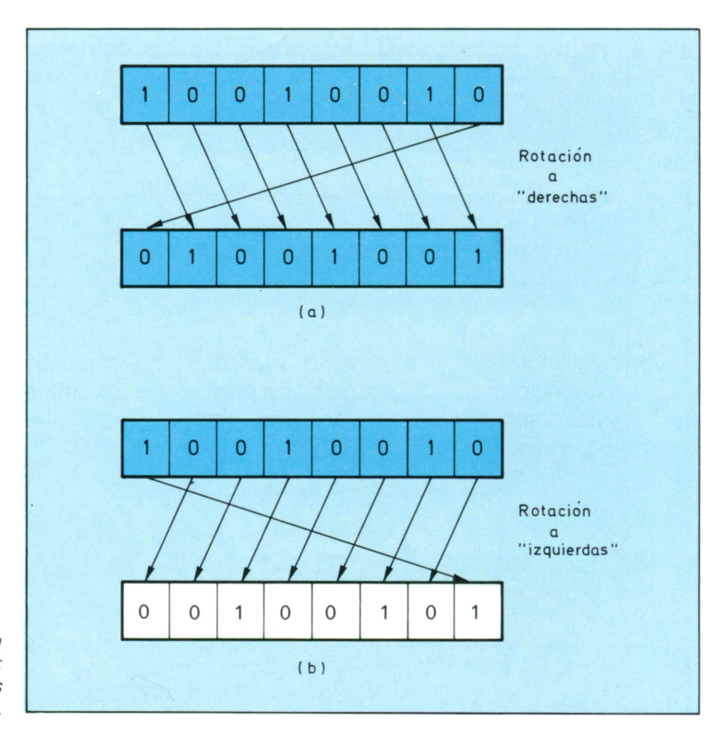


Figura 58. a) Rotación a derechas de un registro; b) Rotación a izquierdas de un registro.

Una plantilla es una combinación de bits, en número idéntico al del registro sobre el que va a actuar, de forma que a cada uno de los bits de la plantilla se le asignará su bit homólogo en el registro correspondiente. Cuando se trata de escribir determinada información en el registro, esta información es introducida en la plantilla, mientras que es la instrucción de escritura la que traslada sobre el registro, a partir de la plantilla, la información de aquellos bits que pretenden escribirse en el registro. Cada una de estas instrucciones cuenta con microinstrucciones que le son propias, como son las de poner a «cero» o a «uno» los bits de la plantilla y a partir de ellas el contenido de los registros.

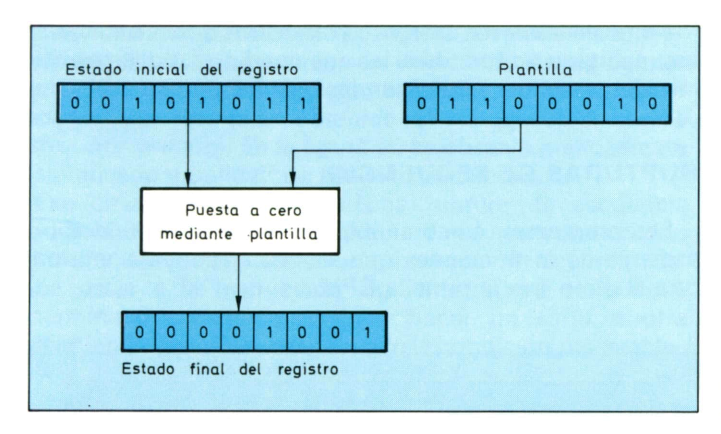


Figura 59. Puesta a cero de un registro mediante plantilla o máscara.

Otras instrucciones propias, como las de comprobación, de los estados lógicos de los registros a partir de las plantillas o máscaras, son frecuentes en una gran parte de los microprocesadores.

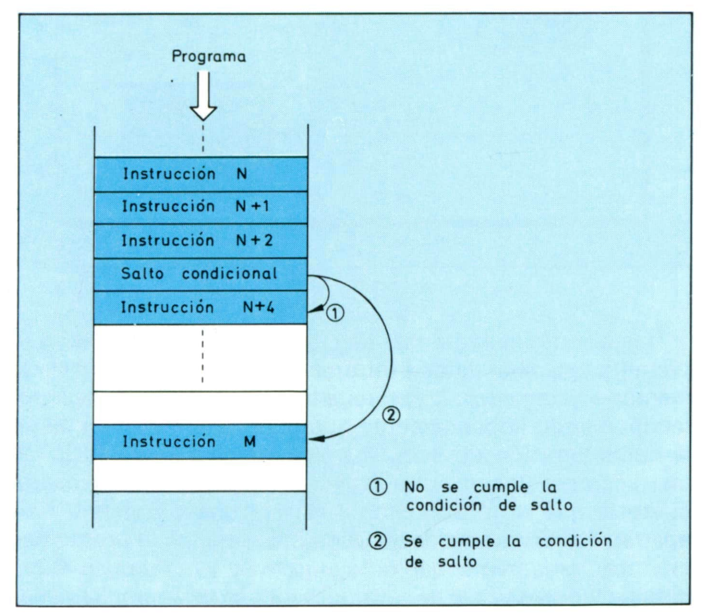


Figura 60. Instrucción de salto condicional. Diagrama de funcionamiento.

Como en los casos anteriores, las instrucciones tratadas en este apartado no son todas las que pueden disponerse en un microprocesador, pero sí son las más frecuentes.

RUPTURAS DE SECUENCIA

Los programas, como se explicó, están constituidos por cadenas de instrucciones que se van ejecutando una tras otra al ritmo que impone la CPU.

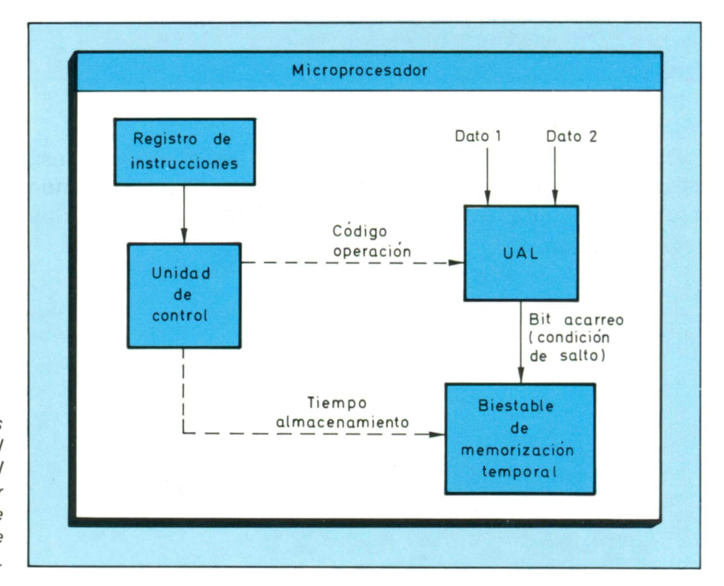


Figura 61. Señales internas al microprocesador con el fin de almacenar temporalmente el bit de acarreo como resultado de determinada operación.

Hasta este instante se han tratado instrucciones que permitían manejar datos e informaciones entre posiciones de memoria y registros, entre registros y en un solo registro, reconociendo implícitamente que el programa resultante de la concatenación de estas instrucciones va ejecutando las instrucciones una tras otra hasta su finalización. Pero resulta evidente que si no existieran instrucciones que permitieran apartarse al programa de su secuencia ordinal, la programación resultaría tremendamente engorrosa y la propia realización de labores por el microprocesador se vería ampliamente

limitada. Las instrucciones de ruptura de secuencia, que permiten saltar a otra instrucción distinta de «la siguiente», reciben el nombre de saltos condicionales ya que el mismo depende del resultado obtenido en la ejecución de la instrucción anterior. En la figura 60 se observa gráficamente el significado y utilidad de estas instrucciones.

Explícitamente se efectúa una ruptura de secuencia mediante un salto condicional cuando el microprocesador, encontrándose ejecutando una instrucción determinada, debe pasar a la instrucción siguiente, si no se cumple determinada condición, o bien hacer un salto a otra determinada dirección, caso de que la condición preestablecida se cumpla. Mediante la ejecución de esta instrucción el contador de programa (CP) debe ser informado de la dirección a la que ha realizado el salto en el programa, con el fin de introducir la dirección de la instrucción siguiente y restablecer con ello la secuencia de ejecución en las instrucciones hasta el final del programa..... caso de no encontrar una nueva instrucción de ruptura de secuencia.

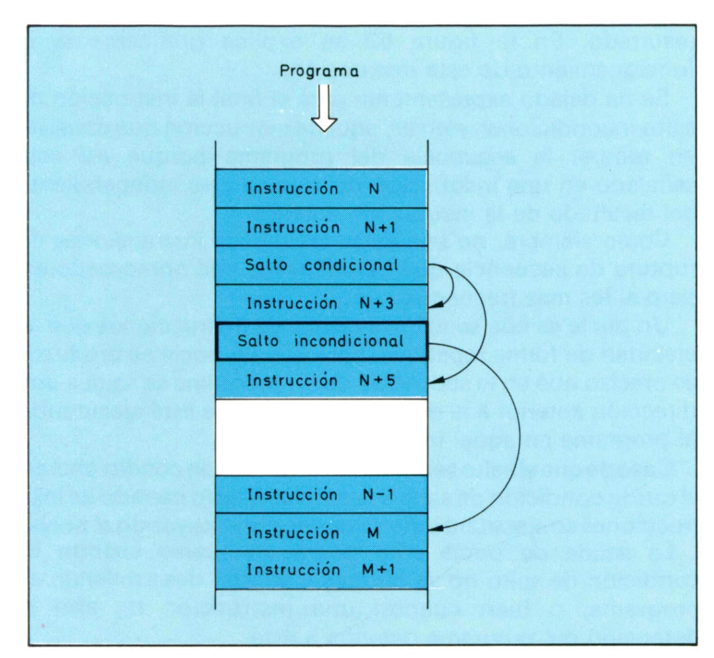


Figura 62. Salto incondicional en una secuencia de instrucciones en la que se incluye un salto condicional.

Tal como se ha señalado, el salto condicional es el resultado de considerar el resultado de la instrucción anterior, de forma que se constate si dicho resultado cumple o no la condición de salto. Para que este análisis del resultado pueda realizarse es preciso almacenarlo temporalmente en una báscula de almacenamiento temporal. En la figura 61 se presenta la estructura interna del microprocesador «ejecutando» la acción de memorizar temporalmente determinada información que va a ser usada para decidir el salto condicional o no.

Evidentemente, las instrucciones de salto condicional, esto es, dependientes del resultado de la ejecución de la instrucción anterior, no son las únicas instrucciones que permiten romper la secuencia natural en la ejecución de un programa.

Existen instrucciones de toma de decisión, que son una variante de las de salto condicional ya que el salto a unas direcciones determinadas depende del resultado de la ejecución de la instrucción anterior, pero con la diferencia de que el salto se realiza independientemente del resultado de aquella, eso sí, a direcciones distintas según cual sea dicho resultado. En la figura 62 se explica gráficamente el funcionamiento de esta instrucción.

Se ha dejado expresamente para el final la instrucción de salto incondicional, esto es, aquella instrucción que consiste en romper la secuencia del programa porque así está señalado en una instrucción del mismo y es independiente del resultado de la instrucción anterior.

Como siempre, no son éstas las únicas instrucciones de ruptura de secuencia que permiten los microprocesadores, pero sí las más frecuentes.

Un bucle es una secuencia cíclica de instrucciones que se ejecutan de forma repetitiva. Para que un bucle se produzca es preciso que en la secuencia de un programa se salte a una dirección anterior a la de la instrucción que está ejecutando el programa en aquel instante.

Caso de que el salto sea incondicional, o bien condicional en el que la condición de salto se cumpla, el ciclo cerrado de instrucciones se ejecutará infinitamente, constituyendo el bucle.

La salida de bucle sólo podrá efectuarse cuando la condición de salto no se cumpla y se siga desarrollando el programa, o bien cuando una instrucción de alto o detención del programa detenga a éste.

